

Lassi Sipilä

Hydraulisylinterin silmukan kiinnitys työstökoneeseen

Opinnäytetyö

Opinnäytetyö

Kevät 2015

Tekniikan yksikkö

Konetekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Koulutusohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Lassi Sipilä

Työn nimi: Hydraulisylinterin silmukan kiinnitys työstökoneeseen.

Ohjaaja: Kimmo Kitinoja

Vuosi: 2015

Sivumäärä: 37

Liitteiden lukumäärä:5

Työ tehtiin Wirtain Metalli OY:lle, joka valmistaa alihankintana keskiraskaita koneistettavia osia. Työssä selvitettiin kappaleen kiinnittämiseen vaikuttavia tekijöitä ja niiden vaikutuksia. Tavoitteena oli suunnitella tuoteperhekiinnitin hydraulisylinterin päätysilmukoille. Tuloksena saatiin kiinnitinmalli ja siitä tehtiin piirustukset. Työssä tutkittiin myös aihion muuttamista kiinnittämisen helpottamiseksi.

Epäkeskeisen kappaleen pyöriminen sorvissa tuottaa keskihakuvoiman ja värinää, jotka aiheuttavat mittavirheitä ja rasittavat koneen osia. Mittavirheitä syntyy myös siitä, jos kappale pääsee liikkumaan kiinnittimessä. Keskihakuvoimaa ja värinää voi vähentää tasapainotuksella. Kun vastapainot ovat kiinnittimessä, voidaan vähentää koneen rasitusta, mutta kappale pyrkii edelleen liikkumaan kiinnittimessä. Työkappaleen tasapainotuksella voidaan vähentää koneen rasitusta sekä parantaa mittatarkkuutta. Kiinnitinsuunnittelussa tuotteelle ja tuoteperheelle suunnitellulla kiinnittimellä helpotetaan kappaleen vaihtoja ja asemointia sekä samaa kiinnitintä voidaan käyttää erikokoisille kappaleille.

Kiinnityksen tarkoituksena on pitää kappale paikoillaan työstöjen ajan. Kiinnitysvoiman on oltava suurempi kuin työstöistä ja kappaleen liikkeistä aiheutuvat voimat. Työssä selvitettiin kiinnitintä rasittavat voimat ja todennettiin laskennallisesti kiinnitysvoiman riittävyys.

Avainsanat: Työstövoima, kiinnitysvoima, keskihakuvoima, tuoteperhekiinnitin

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author: Lassi Sipilä

Title of thesis: Mounting the hydraulic cylinder loop to the machining center

Supervisor: Kimmo Kitinoja

Year: 2015

Number of pages:37

Number of appendices:5

The thesis is made for Wirtain Metalli OY. The company manufactures medium heavy machining parts as a subcontractor. Effecting factors for mounting work pieces were found out while preparing the thesis. The aim of the thesis was to plan a fastener for the product family. The result was a fastener model and the drawings for it. In the thesis the changes of the work piece also were studies so it would be easier to fasten.

When the eccentric work piece is rotating in the lathe it produces the centripetal force and vibration. Those cause measurement fails and it strains the machine parts. The measurement fails also appear if the work piece moves into the clamping system. The centripetal force and vibration can be decreased with stabilization. When the counterweight is mounted to the fastener it decreases the strain of the machine parts but the work piece tries still to move. The balance of the work piece improves the measurement accuracy and reduces stress of the machine parts. The fastener which is designed for the product and product family helps the part change and positioning.

The purpose of the fastener is to keep the part in position during machining. The clamping force must be more than the cutting force and the centripetal force are together. The stressing forces of the fastener were found out in the thesis and the suitability of the clamping force was verified computationally.

Keywords: cutting force, clamping force, centripetal force, fastener for product family,

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet	6
1 JOHDANTO.....	7
1.1 Työn tausta	7
1.2 Työn tavoite ja rakenne	7
1.3 Yritysesittely	8
2 TYÖKAPPALEEN KIINNITTÄMINEN	9
3 TYÖSTÖVOIMAT	11
3.1 Pyörimisliike	14
4 KIINNITYSVOIMA	16
4.1 Kitkavoima ja varmuusluku.....	16
5 KIINNITIN	18
5.1 Pohjalevy.....	20
5.2 Leuat ja pystykiinnittimet	22
5.3 Kiinnitysvaihtoehtoja	24
5.4 Työstöstä aiheutuvat voimat.....	25
5.5 Lopullinen kiinnitin.....	27
5.6 Kiinnityksen laskenta.....	27
5.7 Kiinnittimen valmistus.....	30
6 DFMA	31
6.1 DFM-sovellusehdotus.....	31
6.2 DFM kiinnittimessä	33
7 YHTEENVETO JA POHDINTA.....	34
LÄHTEET	35
LIITTEET	37

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Silmukoiden koko- ja muotoeroja	7
Kuvio 2. Tukipisteiden sijainti koordinaatistossa	9
Kuvio 3. Sorvauksen asetusliikkeet.....	12
Kuvio 4. Lastun muodostus jyrksinnässä.....	14
Kuvio 5. Keskihakuvoima	15
Kuvio 6. Työstövoiman suunta kiinnitysvoimaan nähden	16
Kuvio 7. Esimerkki työkappaleen kiinnityksestä työstökoneeseen.	20
Kuvio 8. Pohjalevyn eri versioita	22
Kuvio 9. Kiinnitysleukojen eri versioita	23
Kuvio 10. Eri kiinnitysvaihtoehtoja.....	25
Kuvio 11. Kiinnitinkokoonpanon 3D-malli	29
Kuvio 12. Esimerkki tasapainotetusta aihioista	32
Taulukko 1. Materiaalien ominaisleikkuuvoimia	11
Taulukko 2. Kiinnitysvoimia eri kiinnitintyypeillä	23
Taulukko 3. Kappaleiden pyörimisestä aiheutuvia voimia	26
Taulukko 4. Kappaleiden kierrosnopeuksia eri lastuamisnopeuksilla.....	27

Käytetyt termit ja lyhenteet

Monitoimisorvi

Monitoimisorvi eli toiselta nimeltään sorvauskeskus on numeerisesti ohjattu työstökone, jossa on pyörivän sorvauskaran lisäksi pyörivät työkalut. Tällöin koneella voidaan normaalin sorvauksen lisäksi porata ja jyrsiä. Sorvauskaraa voidaan käyttää jyrsinän aikana yhtenä akselina. Pystykaraisessa sorvauskeskuksessa kappale voidaan vaihtaa pöydälle paletilla. (Pikkarainen 2010, 27-29.)

Tuoteperhekiinnitin

Kiinnitin, jolla voidaan kiinnittää työstöä varten samaan tuoteperheeseen kuuluvia kappaleita. Kiinnitin muuntautuu kappaleen koon ja yksityiskohtien mukaan. (Aaltonen ym. 1991, 245.)

CAM

Computer Aided Manufacturing eli tietokoneavusteinen valmistuksen suunnittelu. CAM-ohjelmalla voidaan simuloida työstökoneen toimintaa. Siinä voidaan muokata työstökoneen ratoja. Simuloinnista saadaan seurattua terän liikkeitä, työstöaikaa, lastun virtausta ja valumottien täyttymistä. (Laakko ym. 1998, 205, 208-210.)

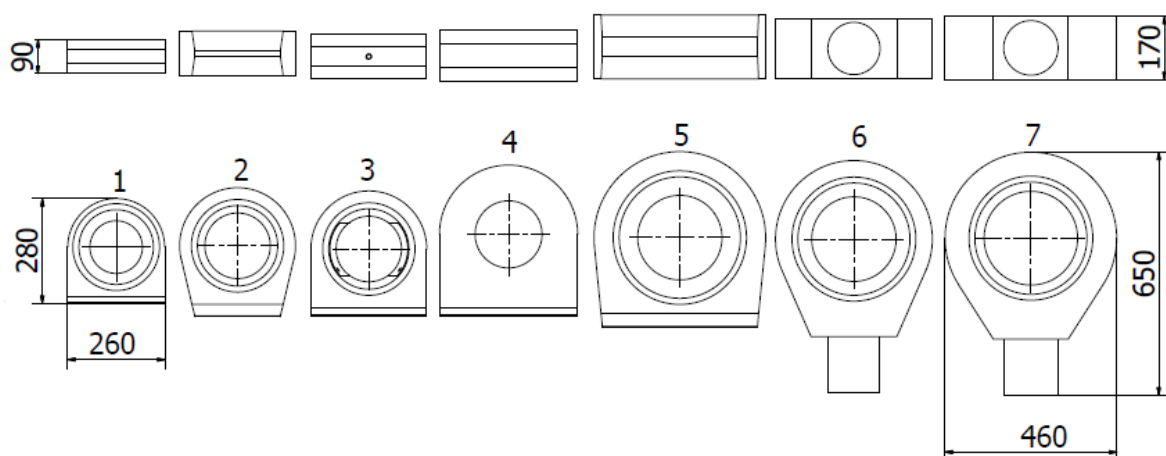
DFMA

Design for Manufacturing and Assembly eli valmistus- ja kokoonpanoystävällinen suunnittelu. Kappaleet suunnitellaan helposti valmistettaviksi hyvin saatavista materiaaleista. Menetelmää käytetään tuotteiden suunnittelussa kun konstruktiolle haetaan lopullista optimaalista ratkaisua. (Laakko ym. 1998, 184.)

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

WirMet Oy valmistaa alihankintana isojen hydraulikkasynterien osia. Työstettävät kappaleet ovat hydraulikkasynterin päässä olevat silmukat. Kaikille silmukoille on yhteistä sisällä oleva pallonivel. Nämä silmukat ja pallonivelet ovat sorvaamalla valmistettavia koneistettavia osia. Silmukoihin tehdään myös joko viiste hitsaus-saumalle tai ulkokierre synterin runkoon liittämistä varten (liite 1). Kappaleen muoto on epäkeskeinen (kuvio 1), joten se pyrkii liikkumaan sorvaustyövaiheen aikana. Liikkuminen aiheuttaa mitta- ja muotovirheitä silmukkaan. Työstökone on Okuma VTM-120-Yb 5-akselinen monitoimisorvi, jossa on 1000 mm:n kolmileuka-pakka.



Kuvio 1. Silmukoiden koko- ja muotoeroja
(Taisto, A. 2013)

1.2 Työn tavoite ja rakenne

Työkappaleen kiinnittämiseen vaikuttavia tekijöitä on monia, opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää nämä tekijät ja soveltaa niitä kiinnittimen suunnittelussa. Työn tarkoituksena on suunnitella kiinnitin WirMet Oy:lle. Kiinnittimellä on tarkoitus kiinnittää työstettävä kappale pystykaraiseen monitoimisorviin. Tarkoitus on suunnitel-

la tuoteperhekiinnitin, jolla voidaan kiinnittää erikokoisia ja lähes samanmuotoisia aihioita. Esimerkkiaihioiden paksuus ja halkaisija vaihtelee eri kokojen välillä. Aihioiden korkeus on 90 – 170 mm, leveys 260 – 460 mm ja pituus 280 – 650 mm (kuvio 1). Kaikki ahiot ovat epäkeskeisiä ja ahiot ovat polttoleikkeitä. Suurin osa työstöistä tehdään samalla kiinnityksellä. Ennen kuin kiinnitintä voidaan suunnitella, pitää selvittää kiinnittämiseen vaikuttavat tekijät, joita ovat esimerkiksi kappaleeseen ja kiinnittimeen kohdistuvat voimat sekä kiinnityspisteet. Kappaleeseen ja kiinnittimeen kohdistuvia voimia ovat työstövoimat ja kappaleen pyörimisestä aiheutuva voima sorvattaessa. Työssä tutkitaan myös DFMA:n vaikutusta kappaleen valmistuksessa.

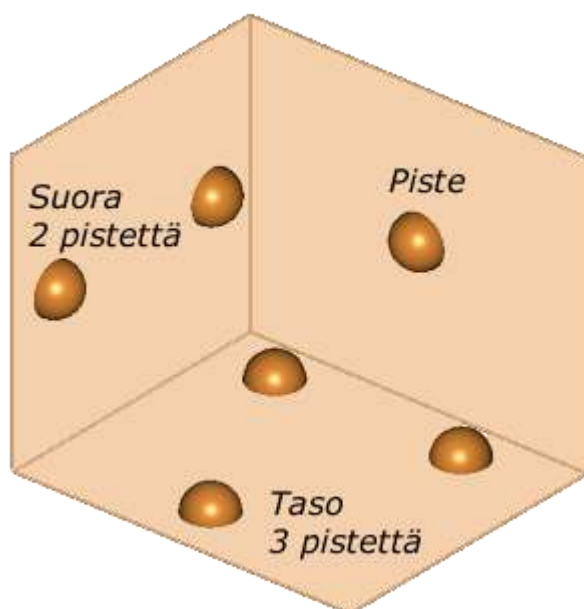
1.3 Yritysesittely

Wirtain Metalli OY on vuonna 1994 perustettu, Virroilla toimiva metallialan komponenttitoimittaja, joka on erikoistunut keskiraskaaseen alihankintakoneistukseen. Lisäksi yrityksellä on tytäryhtiö Aisikon Oy Ähtärissä. Se valmistaa hienomekaanisia koneistuksia kirkkaista metalleista. Aisikon Oy on perustettu vuonna 1984. Se on toiminut WirMet OY:n alaisuudessa vuodesta 2006 lähtien. Yhdessä yritykset tarjoavat monipuolista ja laaja-alaista palvelua asiakkailleen. Yritys työllistää Virroilla 13 henkilöä ja Ähtärissä 13 henkilöä. Yrityksen toimitila on Virroilla vuonna 2009 valmistunut 2200 m²:n halli, jossa WirMet OY on toiminut vuodesta 2012 lähtien. Ähtärissä on 1250 m²:n halli, joka on otettukäyttöön vuonna 2013. (Wirtain Metalli Oy 2015.)

2 TYÖKAPPALEEN KIINNITTÄMINEN

Kiinnittämisen tarkoituksena on asettaa työkappale työstökoneeseen siten, että sen paikka ja asento tiedetään tarkasti, ja ettei se pääse liikkumaan työstämisen aikana. ”Kiinnittämätön ja suuntaamaton kappale voi pyöriä kaikkien akseleidensa ympäri, sekä liikkua eri koordinaattiakselien suuntaan. (Kuusi vapausastetta)” (Tampereen kaupunki 2002).

Työkappale tukeutuu kiinnittimessä tukipisteisiin. Kappale kiristetään tukipisteitä vasten kiinnitysvoimalla. Tukipisteissä pitäisi pyrkiä käyttämään niin sanottua 3-2-1-sääntöä, joka tarkoittaa optimaalista tukipisteiden määrää kappaleen kiinnittämisessä. Kappale tuetaan kolmelta suunnalta edellä mainituilla tukipistemäärillä. Kappale tuetaan ensin valitun lähtötason mukaan kolmella tukipisteellä. Tällöin kappale ei pääse liikkumaan kuin lähtötason mukaisesti ja yhden akselin ympäri. Akselin ympäri kiertäminen estetään kahden tukipisteen muodostamalla suoralla, jonka jälkeen kappale pääsee liikkumaan vain yhden akselin suuntaisesti. Akselin suuntainen liike lukitaan yhdellä tukipisteellä, joka sijaitsee sitä kohtisuoraan olevalla akselilla (kuvio 2). Kappaleeseen voidaan tehdä myös lisätuentoja, mutta ne eivät saa muuttaa päätuenuilla tehtyä kohdistusta. (Tampereen kaupunki 2002.)



Kuvio 2. Tukipisteiden sijainti koordinaatistossa (Tampereen kaupunki 2002).

Eri työstökoneissa käytetään eri kappaleen kiinnitysmenetelmiä. Sorvattaessa yleisiä kiinnittimiä ovat kolmileukaistukka, monileukalaikka, tasolaikka, tankoistukka ja erikoisistukat. Kappale voidaan kiinnittää myös istukkaan keskiökärjellä tuetuna, kärkeen väliin ja tuurnien avulla. Lisäksi pitkien ja hoikkien kappaleiden kiinnittämiseen tarvitaan avuksi tukilaakeria. Sarjatuotannossa kappaleiden kiinnittämiseen käytetään yleisesti hydraulisesti, pneumaattisesti sekä sähköisesti toimivia kiinnittimiä. (Maaranen 2004, 117.)

Automaattisten tuotantojärjestelmien työvälineitä ovat esimerkiksi tarraimet robotteihin ja niiden ohjauslaitteet sekä hitsauskiinnittimet. Tarraimet ovat käsiteltävää kappaletta varten suunniteltuja ja niiden muoto voi vastata tuotteen muotoa, niitä voidaan vaihtaa robotin työvarren päähän pikakiinnityksellä (Scalar OY, [Viitattu 3.5.2015]). Työvälineitä ovat myös työstökoneiden paletit ja koneistuskiinnittimet jotka on tarkoitettu materiaalin käsittelyyn FMS-järjestelmässä. FMS on joustava varastojärjestelmä, joka mahdollistaa tuotannon automatisoinnin ja erilaisten työstökoneiden yhdistämisen samaan työkiertoon. Paletit ovat kiinnittimiä, joille määritellään koneistuskierto eri työstökoneille sekä kappaleen purku- ja lastauspaikoille. (Fastems 2014.) Manuaalisten työstökoneiden, kuten porakoneiden, kanssa käytettiin paljon erilaisia ohjaimia. Nykyisten työstökoneiden kanssa ei tarvita enää ohjaimia, ne on korvattu ohjelmoinnilla ja ohjausjärjestelmillä. Tuotantoautomaation joustavuus on lisännyt koneistuskiinnittimen tarvetta. Kiinnittimiltä ja työkaluilta edellytetään soveltuvuutta kappaleperheille ilman suuria asennustöitä ja muutoksia. (Aaltonen 1997,156.)

3 TYÖSTÖVOIMAT

Työstövoimat ovat voimia, jotka vaikuttavat sekä työkappaleeseen että teräpalaan. Ne pyrkivät estämään lastun irtoamista kappaleesta. Kiinnittimen suunnittelua varten pitää tietää kappaleeseen kohdistuvat maksimityöstövoimat ja niiden suunnat, jotta voidaan laskea kiinnitysvoiman tarve ja kiinnittimeen kohdistuvat rasitukset. Työstövoiman suunnalla tukipisteeseen ja kiinnitysvoimaan nähden on suuri merkitys. Työstövoiman ollessa kiinnitysvoiman suuntainen se parantaa kappaleen paikoillaan pysymistä. Voiman ollessa vastakkainen kiinnitysvoimaan nähden se heikentää sitä. Kohtisuoraan kiinnitysvoimaan tulevaa työstövoimaa vastustaa vain kiinnityksen kitkavoima (kuvio 6). Kappale tulisi kiinnittää siten, että työstövoimien suunnat kohdistuvat kiinteisiin tukipisteisiin. (Tampere kaupunki 2002.)

Työssä tutkitaan kappaleen kiinnittämistä, joten työstövoimien laskentaan käytetään yleiskaavoja. Likimääräinen työstövoima voidaan laskea ominaisleikkuuvoiman (k_s) avulla. Sillä tarkoitetaan voimaa, jolla syntyy plastinen muodonmuutos, joka muodostaa lastun ja irrottaa sen. Yksikkönä käytetään N/mm^2 . Ominaisleikkuuvoimaan vaikuttaa materiaalin lujuus ja lastun poikkipinta-ala. Siihen voidaan vaikuttaa myös syöttönopeudella ja terän asennolla. Nopeuden lisääminen nostaa lämpöä, joka pienentää ominaisleikkuuvoimaa ja helpottaa lastun muodostumista. Teräpalan positiivinen rintakulma helpottaa lastun muodostumista ja pienentää leikkuuvoimaa. (Maaranen 2004, 129.)

Taulukko 1. Materiaalien ominaisleikkuuvoimia (Sandvik, [Viitattu 20.01.2015]).

Lastuttavien aineiden jaottelu ISO- standardin mukaan			
Ryhmä	Materiaali	Nimelliskovuus	Ominaisleikkuuvoima k_{c1} (N/mm ²)
ISO P	Teräs	125 - 400 HB	1400 - 3100
ISO M	Ruostumaton teräs	200 - 330 HB	1800 - 2850
ISO K	Valurauta	200 - 460 HB	790 - 1350
ISO N	Pehmeät ei rautametallit	30 - 225 HB	350 - 700
ISO S	HRSA ja Titaanit	120 - 410 HB	1300 - 3100
ISO H	Karkaistut teräkset	45 - 68 HRC	2550 - 4870

Esimerkkikappaleelle tehdään työstöjä sekä sorvaamalla että jyrsimällä. Sorvattaessa pääleikkuuvoima F_p voidaan laskea ominaisleikkuuvoiman kautta kaavalla:

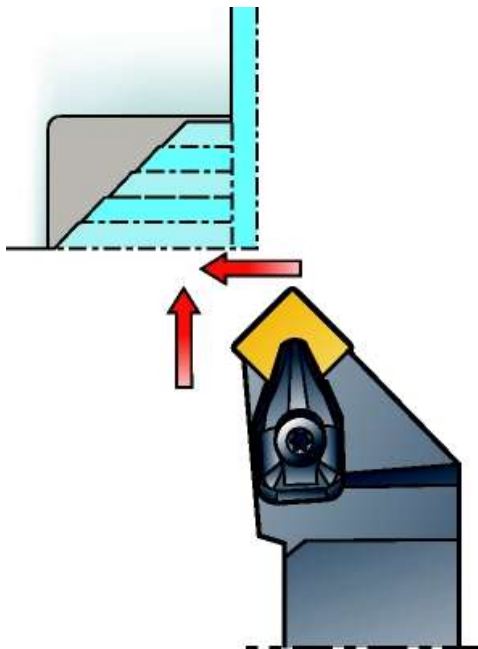
$$F_p = s \cdot a \cdot k_s \quad (1)$$

F_p = pääleikkuuvoima (N)

s = syöttö (mm/r)

a = lastuamissyvyys (mm)

k_s = ominaisleikkuuvoima (N/mm²). (Maaranen 2004, 129.)



Kuvio 3. Sorvauksen asetusliikkeet (Sandvik, [Viitattu 20.01.2015]).

Jyrsittäessä kiinnittämistä ajatellen tärkein voima on työkappaleeseen kohdistuva syöttövoima F_s ja sitä kohtisuoraan vaikuttava normaalivoima F_n (Maaranen 2004, 200). Näiden resultantti on päälastuamisvoima F_y

Keskimääräinen päälastuamisvoima hammasta kohti F_{ym}

$$F_{ym} = b \times h_m \times k_s \quad (2)$$

b = lastuamisleveys (mm)

h_m = lastun keskipaksuus

Lastun keskipaksuus h_m

$$h_m = \sin k_r * f_z * a_e / (\alpha / 360 * \pi * D) \quad (3)$$

k_r = työkalun asetuskulma

f_z = syöttö

a_e = lastuamisleveys

D = Terän halkisija

lastuamisleveys b

$$b = a_p / \sin k_r$$

a_p = lastuamissyvyys

Kontaktissa olevien hampaiden määrä:

$$e = z * \alpha / 360 \quad (4)$$

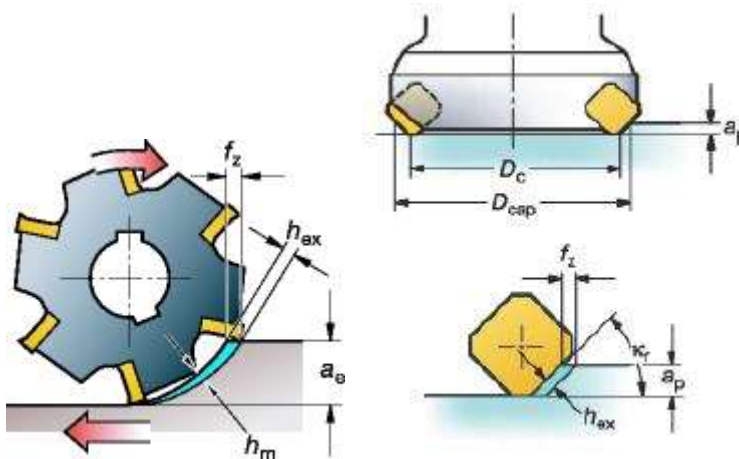
z = jysinterän hammasluku (kpl)

α = kontaktikulma

Päälastuamisvoima

$$F_y = F_{ym} * e \quad (5)$$

(Tampereen kaupunki 2002.)



Kuvio 4. Lastun muodostus jyrsinnässä
(Sandvik, [Viitattu 20.01.2015]).

Työstettävälle materiaalille on suositellut lastuamisnopeudet (V_c) parhaan pinnanlaadun saamiseksi. Lastuamisnopeuteen vaikuttaa teräpalan malli ja materiaali. Sorvattaessa lastuamisnopeus lasketaan kappaleen halkaisijasta ja kierrosnopeudesta.

$$V_c = (D_m \cdot \pi \cdot n) / 1000 \quad (6)$$

$$V_c = \text{Lastuamisnopeus (m/min)}$$

$$D_m = \text{Sorvattava halkaisija (mm)}$$

$$n = \text{Karanopeus (r/min)}. \text{ (Sandvik, [Viitattu 20.01.2015].)}$$

Kierrosnopeus voidaan laskea, kun tiedetään haluttu lastuamisnopeus ja sorvattava halkaisija

$$n = (V_c \cdot 1000) / (D_m \cdot \pi) \quad (7)$$

3.1 Pyörimisliike

Sorvattaessa kappale pyörii pyörähdysakselinsa ympäri. Pyörivän kappaleen massan epäkeskeisyys aiheuttaa värinää ja keskihakuvoiman. Se kuvaa kappaleeseen pyörimisliikkeessä kohdistuvaa voimaa, jonka suunta on pyörähdyskeskiötä kohti. Mikäli se lakkaa vaikuttamasta, jatkaa kappale sen hetkisen nopeus-

vektorin suuntaan. Nopeusvektori on pyörähdysradan tangentin suuntainen. Keskihakuvoima lasketaan kappaleen massasta m , painopisteen ja pyörähdyskeskiön erosta r sekä ratanopeudesta v .

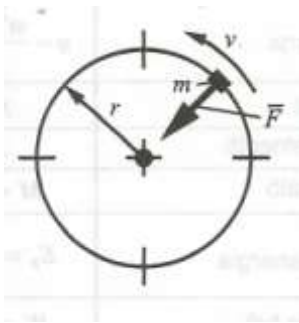
$$F_r = mv^2/r \quad (8)$$

$$v = r\omega = 2\pi rn$$

$$F_r = m(r\omega)^2/r = mr^2\omega^2/r =$$

$$F_r = mr\omega^2$$

$$\omega = \text{Kulmanopeus. (Valtanen 2009, 201.)}$$



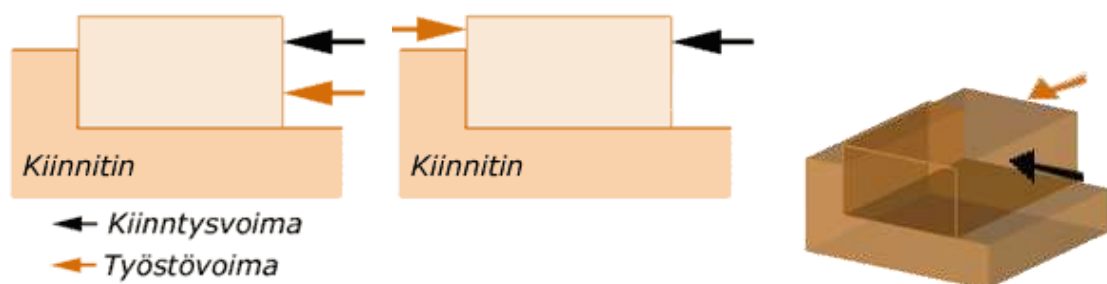
Kuvio 5. Keskihakuvoima
(Valtanen 2009, 201.)

Epäkeskeisen kappaleen pyöriminen tuottaa värähtelynlähteen. Tasaisella nopeudella se muodostaa jatkuvan jaksollisen herätteen. Värähtelyn taajuuden yksikkö on hertsi $\text{Hz} = 1/\text{s}$. (Robert Bosch GmbH 2002, 31-34.)

Värähtelyä ilmenee yleensä pitkiä ja hoikkia kappaleita sorvattaessa. Siihen voidaan vaikuttaa kappaleen kierrosnopeudella. Värähtelyä voidaan mallintaa FEM-analyysillä tai moodianalyysillä. Nämä eivät kuitenkaan anna yhteneviä tuloksia koska sorvissa kappale on yhteydessä kiinnittimeen, vaihteistoon ja laakereihin, jotka ovat epälineaarisia kappaleita. Värinän tunnistamiseksi ja eliminoimiseksi on kehitetty anturitekniikkaan perustuva mittaussuunnitelma. Anturisignaalin perusteella voidaan mitata värinän taajuutta. Sen perusteella on mahdollista säätää las-
tuamisnopeutta manuaalisesti tai jopa automaattisesti, siten että värinää ei muodostuisi (Metallitekniikka 5.8.2010.)

4 KIINNITYSVOIMA

Kappaleen kiinnitysvoiman tehtävänä on estää kappaleen liikkumista työstön aikana. Kiinnitysvoiman aiheuttaman tukipisteiden ja kappaleen välisen kitkavoiman tulee olla suurempi kuin työstöstä aiheutuvat voimat. Kiinnitysvoiman ja sitä rasittavien voimien suhdetta kuvataan varmuuskertoimella, yleisesti käytetty kerroin on noin 2 – 3. Eli kiinnityksen pitää kestää noin kahdesta- kolminkertaiseen rasituksen verrattuna samanaikaisten työstövoimien ja liikevoimien summaan. (Tampereen kaupunki 2002.)



Kuvio 6. Työstövoiman suunta kiinnitysvoimaan nähden (Tampereen kaupunki 2002).

4.1 Kitkavoima ja varmuusluku

Kitkakerroin on kappaleen liikkeelle saattamiseen tarvittavan voiman F ja kappaletta pintaan puristavan kohtisuoran komponentin N suhde:

$$\mu = F/N. \text{ (Valtanen 2009,193.)} \quad (9)$$

Kitkavoima F on siis muotoa $F = N \cdot \mu$

Kitkakertoimeen vaikuttaa kosketuspintojen materiaali ja pinnanlaatu. Teräs-teräs lepokitkakerroin on $\mu = 0,75$. Kiinnitysvoimaa voidaan lisätä vielä kasvattamalla kitkakerrointa, esimerkiksi vaihtamalla kappaleen tukipisteitä piikkimäisiksi. Tällöin kitkakerroin lähestyy 1:tä. (Valtanen 2009,193.)

Suunniteltaessa rakenteita ei rakenteen kestolle voida ottaa rajaksi suurinta sen kestävä kuormaa eli kriittistä kuormaa F_{kr} tai kriittistä jännitystä σ_{kr} . Lujuusopin

laskentamalleissa on aina yksinkertaistuksia ja epätarkkuuksia. Epävarmuustekijöitä on myös käyttöolosuhteissa ja valmistusmenetelmissä. Varmuusluku n varmistaa rakenteen toimivuuden. Varmuusluku määritellään joko kuormituksen tai jännityksen avulla. Se voidaan laskea vertaamalla kriittistä kuormaa sallittuun kuormaan F_{sall} tai vertaamalla kriittistä jännitystä sallittuun jännitykseen σ_{sall} . (Karhunen, ym. 1992, 28.)

$$n = F_{kr}/F_{sall} \quad \text{tai} \quad (10)$$

$$n = \sigma_{kr}/\sigma_{sall} \quad (11)$$

Varmuusluvun arvo vaihtelee suunnittelukohteen mukaan. Valittaessa varmuusluku on otettava huomioon muun muassa laskentatarkkuus kuormitusten tyyppi ja lukumäärä, käyttöikä, materiaalin ominaisuudet ja niiden vaihtelu. On otettava huomioon myös kuinka suuret vahingot mahdollinen vaurio saisi myös aikaan. (Karhunen, ym. 1992, 28.)

Työkappaletta kiinnitettäessä kiinnitysvarmuutta voidaan tarkastella kiinnitysvoimien ja työstövoimien suhteesta. Jyrsittäessä kiinnitysvoimaa verrataan päälas-tuamisvoimaan. Työstövoiman suunta vaikuttaa myös kiinnitysvarmuuteen.

$$n = F/F_y \quad (12)$$

Sorvattaessa kiinnitysvoimaan verrattava voimat ovat työstövoima ja kappaleen liikkeestä aiheutuva keskihakuvoima, joten varmuuskerroin lasketaan jakamalla kiinnitysvoima näiden summalla. (Tampereen kaupunki 2002.)

$$n = F/(F_p + F_r) \quad (13)$$

5 KIINNITIN

Työstökoneen kiinnitintä suunniteltaessa on huomioitava monia asioita. Siinä pitää olla riittävän jäykkä ja tukeva runko. Kiinnitintä pitäisi pyrkiä jäykistämään oikealla muotoilulla ennemmin kuin massaa lisäämällä. Kevyet kiinnittimet ovat helpompia käsitellä ja niissä on pienemmät hitausvoimat. Tällä on iso merkitys erityisesti sorvattaessa. Oikealla muotoilulla estetään kappaleen asentaminen väärin kiinnittimeen. Kiinnityselementtien pitää olla nopeita käyttää. Voimatoimiset kiinnittimet, esimerkiksi hydraulikka- ja paineilmatoimiset kiinnittimet, lisäävät kiinnitysvarmuutta. Työstö- ja kiinnitysvoimien vaikutus tuotteen muodonmuutokseen pitää minimoida. Tukipisteiden sijoitteluun vaikuttaa päälastuamisvoimien suunta ja vaihtelu. Kappaleet pyritään koneistamaan mahdollisimman vähillä kiinnitysvaiheilla. Koneistettavissa kohdissa pitää olla riittävästi tilaa työstäville terälle ja irtoaville lastuille. Turhia ulokkeita pitää välttää. Ruuvikiinnitykset kannattaa sijoittaa siten, että niihin pääsee helposti avaimilla, ja ne eivät haittaa työstöjä. Kiinnittimestä tehtyä CAD-mallia voidaan käyttää apuna työstöratojen suunnittelussa, jolloin työstön CAM-simuloinnissa voidaan havaita mahdolliset törmäystilanteet. (Aaltonen ym. 1991, 245 – 246.)

Työvälineen materiaalia valittaessa pitää ottaa huomioon valmistuskustannukset, huoltokustannukset, korjauskustannukset, varastointi ja häiriöistä johtuvien seisokkien kustannukset. Väärä materiaalivalinta voi johtaa tuotannon seisokkeihin, joilla on kerrannaisvaikutuksia koko tuotantoketjuun. Työvälineiden materiaaleilta edellytetään suurta lujuutta ja kovuutta. Lisäksi käyttöolosuhteet asettavat lisää vaatimuksia, esim. korroosion kesto, kuumalujuus ja virumisen kesto. Turhan luji- en materiaalien käyttöä pitää myös välttää, koska työkaluteräket ovat vaikeita lastuttavia, ja monessa tapauksessa työkalun pinta joudutaan viimeistelemään hiomalla. Näistä aiheutuu osien valmistukseen lisäkustannuksia. (Aaltonen 1997, 159-160.)

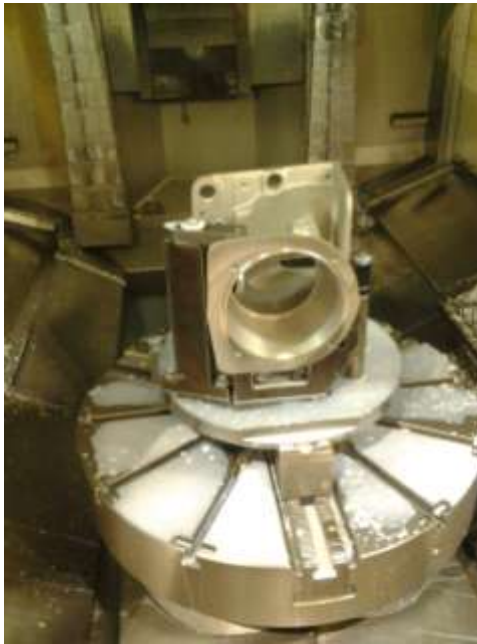
Esimerkkikappaleisiin sorvataan pallonivelen kuulan tila ja tiivisteura sekä jysitään viisteet hitsaussaumalle tai kierre kiinnitystä varten. Aihioita on erikokoisia ja vah- vuisia. Sivujen kaltevuus vaihtelee riippuen silmukan koosta (kuvio 1.). Koska aihio ei ole symmetrinen pyörähdyskappale ja sen reunaan tehdään koneistuksia, sitä ei

voida kiinnittää suoraan sorvin pakkaan normaalin kolmileukakiinnityksen tapaan. Yksi vaihtoehto on tehdä jokaiselle aihiolle omat erikoisvalmisteiset leukansa kolmileukaistukkaan. Niiden tekeminen jokaiselle mallille on työlästä, ja niitä on tehtävä lisää tuotteiden muuttuessa. Toinen, alustavasti suunniteltu, vaihtoehto olisi tehdä kiinnitin, joka on muunneltavissa tarpeen mukaan. Tällöin erikokoiset ja muotoiset aihiot voisi kiinnittää samalla kiinnittimellä.

Kiinnitin voidaan rakentaa valmiista modulaarisista kiinnitinsarjoista, jos sopivia on saatavilla, tai tehdä kiinnittimen osat tuoteperheen mukaan. Tuoteperhekiinnitin tehdään vastaamaan tuotesarjan tarpeita. Usein kiinnittimet suunnitellaan ja valmistetaan vain yhtä tuotetta varten. (Aaltonen ym. 1991, 245,247.)

Yrityksessä pyritään tekemään kappaleen kaikki työstöt samalla kiinnityksellä. Tukipisteiden paikat pitää sijoittaa niin, että ne eivät tule työstöjen tielle, mutta ne paikoittavat ja pitävät kappaleen paikoillaan luotettavasti.

Kuviossa 7 näkyy Wirmet Oy:ssä käytettävä kiinnitin, jolla valukappale on kiinnitetty viimeistelykoneistusta varten. Kuvan kiinnittimessä on käytetty pohjalevyä, johon kappale on tuettu tukipisteillä ja pystykiinnittimillä. Kappaleen asemoimista varten pohjalevyssä on olake, josta voidaan koneen nollaustyökalulla ottaa kappaleen akselin mukainen suoruus. Työstökone on sama monitoimisorvi, johon tulevaa kiinnitintä suunnitellaan.



Kuvio 7. Esimerkki työkappaleen kiinnityksestä työstökoneeseen.

5.1 Pohjalevy

Kiinnitin päätettiin tehdä pohjalevyille, joka kiinnitetään kolmileukapakkaan. Tämä helpottaa kiinnittimen sijoittamista työstökoneeseen. Levyn koko valitaan siten, että suurin aihio sopii sen päälle. T-urilla liikkuvat leuat vaikuttivat järkevältä ratkaisulta, joten niitä päätettiin käyttää. Leukojen paikoittamista varten kiskojen yläpintaan tehdään hammastus, ja vastaava hammastus tehdään leukojen alapintaan. Hammastuksen jaosta saadaan leuoille karkeasäätö. Leukojen paikat voidaan myös merkitä, jolloin niille saadaan esiasennuskohdat eri aihioita varten. Pohjalevyistä mallinnettiin useita eri versioita (kuvio 8). Kiinnittimen osien suunnittelussa käytettiin Autodesk inventor 2012 3D-mallinnusohjelmaa.

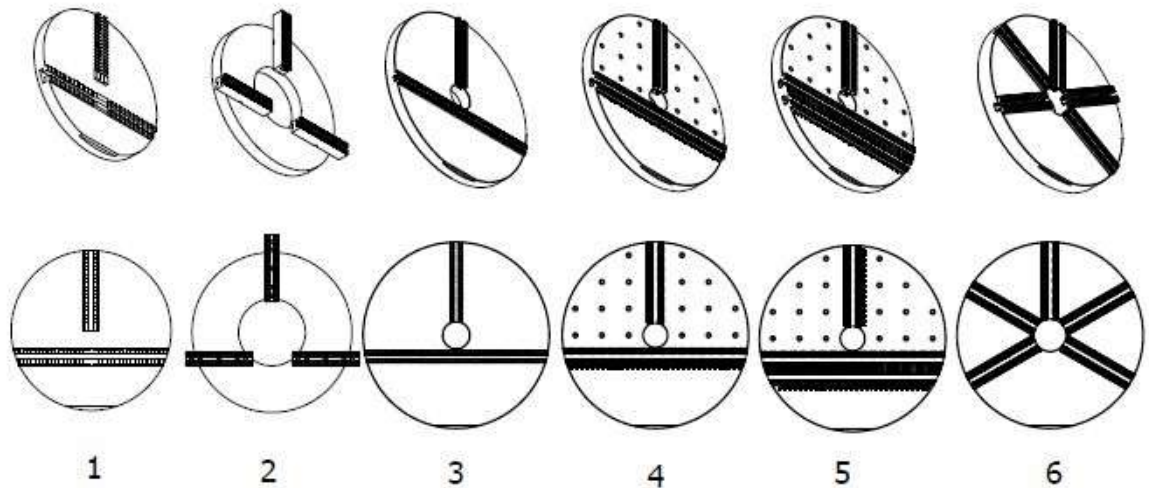
Kuvassa 8 oleva pohjalevy 1 on ensimmäinen versio. Siinä on hammastetut T-urat. Pohjalevyssä 2 oli Halderin kiinnitinelementtisarjasta valitut kiskot (liite 4) ruuveilla kiinnitettynä pohjalevyyn. Elementtisarjassa on 14 mm:n kokoinen T-ura, jonka yläpinnalla on hammastus. Samaan sarjaan on saatavilla useita kiinnityselementtejä.

Levyssä 3 oli samalla T-uramitoituksella tehdyt urat, jotka on jyrsitty pohjalevyyn. Kiinteillä kiskoilla saadaan jäykistettyä kiinnitintä ja vähennettyä liitoksia, jotka

mahdollisesti joustavat tai liikkuvat työstövoiman ja keskihakuvoiman vaikutuksesta.

Levyssä 4 T-uran kokoa kasvatettiin 18 mm:iin. Isompaan uraan voidaan kiinnittää järeämmät elementit. Sillä saadaan lisättyä kiinnitysvarmuutta. Kiskon yläpinnan hammastus vaihdettiin vastaamaan sorvin leuoissa olevaa hammastusta, koska se on tukevampi ja siihen löytyy valmiit työkalut WirMeti:ltä. Halderin kiskoissa hammastus oli 45° hammaskulmalla. Sorvin pakan hammastuksessa on 30° hammaskulma. Terävämpi kulma pitää myös leuan paremmin paikoillaan. Halderin kiskonjako on 5 mm, kun pakan hammastuksessa 6,3 mm, joka sopii myös hyvin käytettäväksi. Hammastuksien mitoitus näkyvät liitteistä 4 ja 5. Pohjalevyyn lisättiin myös 16 mm:n kierrereiät vaihtoehtoisia kiinnityksiä sekä vastapainojen kiinnitystä varten.

Vaihtoehtoon 5 on lisätty toinen T-ura vaakasuuntaan, johon voidaan kiinnittää ohjain, joka paikoittaa kappaleen kiinnittimeen. Tämä pohjalevy on kiinnittimessä, josta on piirustukset liitteenä 5. Vaihtoehto 6 on tehty silmukanaihiolle, joka on tasapainotettu. Tästä kerrotaan lisää luvuissa 5.3 ja 6.1.



Kuvio 8. Pohjalevyn eri versioita

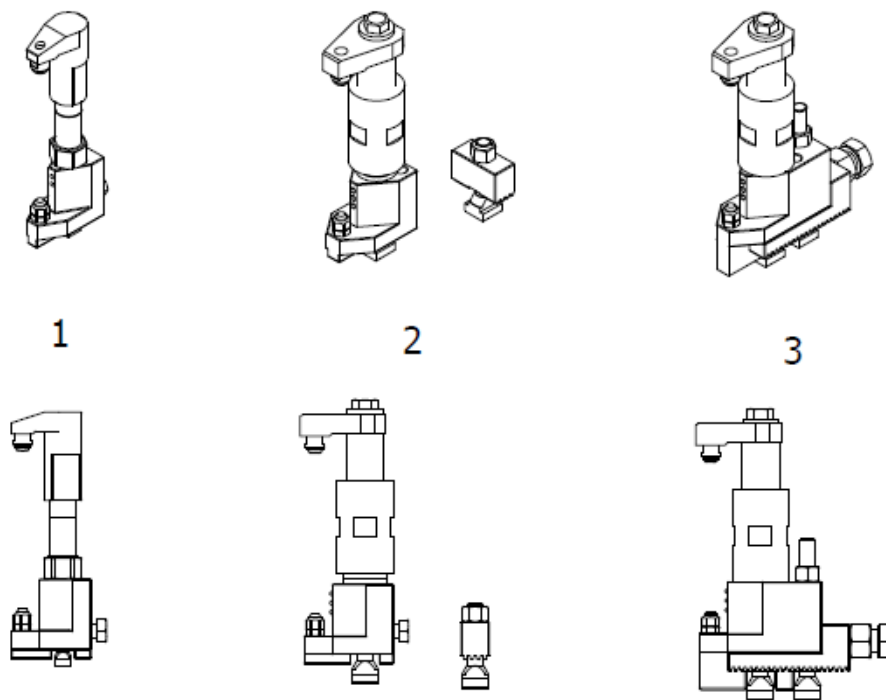
5.2 Leuat ja pystykiinnittimet

Silmukoiden aihiot ovat polttoleikkeitä, joiden reunojen mitat ja kaltevuus vaihtelevat, joten kiinnittimen leuoissa pitää olla karkean säädön lisäksi hienosäätövaraa. Samalla sivusäätöruuvilla tehdään myös sivusuuntainen kiristys. Koneistettavien kappaleiden sarjat olivat pieniä ja kappaleita ei valmisteta miehittämättömillä ajoilla, joten kappaleiden vaihtoon ja kiristämiseen riittivät käsikäyttöiset kiristimet. Leukojen kiinnityksen varmistamiseksi päätettiin käyttää Halderin pystykiinnittimiä, jotka puristavat työkappaleen pystysuunnassa tukipisteitä vasten (liite 3).

Kuviossa 9 näkyy leukojen eri vaihtoehtoja. Leuka 1 on 14 mm:n T-uralle ja siinä on M12-pystykiinnitin. Se kiinnitetään kiskoon yhdellä kiinnitysruuvilla. Ruuvien yläpäähän on kiinnitetty pystykiinnitin. Leuka 2 on tarkoitettu 18 mm:n T-uraan ja siinä on M16-pystykiinnitin. Nämä leuat tukeutuvat erillistä tukikappaletta vasten. Tukikappaleen alapinta on hammastettu ja leuan alapinta on sileä. Niiden etäisyyttä ja kiristystä säädetään leuan takapinnassa olevalla ruuvilla.

Leuka 3 on suunniteltu 18 mm:n T-uralle ja siihen on lisätty toinen T-uraruuvi varmistamaan leuan kiinnitystä. Leuan tukikappaletta on pidennetty ja se tulee leuan ja kiskon väliin, joten se ei tarvitse omaa kiinnitysruuvia.

Leuan paikkaa säädetään tuessa olevan ruuvin avulla ja leuka liukuu tukikappaleen päällä. Kun leukojen paikkaa muutetaan, pystyruuvien mutterit on avattava että leuat pääsevät liikkumaan. Leukojen pystysuuntaisissa tukipisteissä on kova-metalliset tukinastat, joiden korkeutta voidaan säätää. Kohtiin, joissa leuka koskettaa kappaletta sivusta, on laitettu terävät tukinastat, jotka uppoavat kappaleen pintaan, ja lisäävät siten kappaleen paikoillaan pitävää kitkavoimaa kuten todettiin kohdassa 4.1.



Kuvio 9. Kiinnitysleukojen eri versioita

Pystykiinnittimiä on saatavilla useita kokoja. Laskelmia kiinnitysvoimista tehtiin kahdelle erikokoiselle kiinnittimelle M12- ja M16-kiinnitysruuvien mukaan. Kiinnittimen kosketuskohdissa on karhennetut tukinastat. Laskennassa käytettiin teräs-teräs-kitkakerrointa. Kitkavoimat laskettiin kaavan 9 mukaisesti.

Taulukko 2. Kiinnitysvoimia eri kiinnitintyypeillä (Halder [viitattu 20.5.2013]).

Kiinnitysvoimia $F=N*\mu$			
Kiinnitin	puristusvoima N	kitkakerroin μ	kiinnitysvoima F
M12	10000	0,75	7500
M16	15000	0,75	11250

Kiinnitykseen päätettiin käyttää M16-kiinnittimiä, koska niillä saadaan aikaan suurempi kiinnitysvoima ja siten suurempi kiinnitysvarmuus. Isomman voiman vaikutuksesta kierroslukua voidaan myös nostaa sorvattaessa, koska sen pitokyky riittää suuremmille keskihaku- ja työstövoimille.

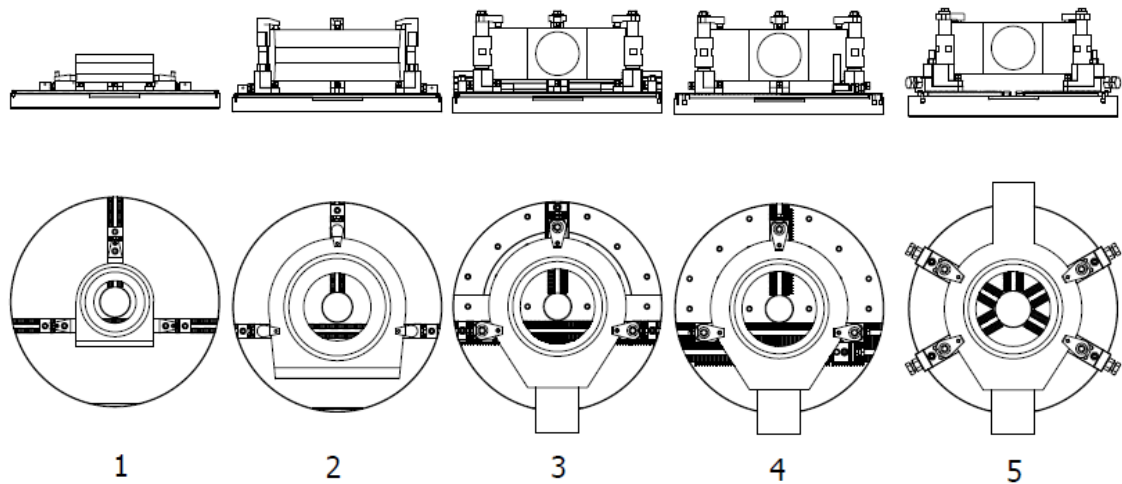
5.3 Kiinnitysvaihtoehtoja

Kuviossa 10 on eri kiinnitysvaihtoehtoja. Ensimmäisessä on pohjalevy, jossa on 14 mm:n T-urat (kuvio 8 levy 3) ja leukoina käytetään valmiita sivukiinnitysleukoja (Liite 2). Leuat puristavat kappaletta vain sivusta, ja keskimmaisella leualla ei ole vastakappaletta. Käytännössä kiinnitysvoimaksi muodostuu vain yhden leuan kiristysvoima 15 kN, joten kiinnitysvoima ei riitä raskaille kappaleille.

Kiinnittimessä 2 on sama pohjalevy kuin ensimmäisessä kiinnittimessä, mutta kiinnittävinä leukoina on kolme kappaletta M12-pystykiinnittimiä (kuvio 9 leuka 1). Kiinnitysvoima tällä kiinnittimellä on n. $7,5 \text{ kN} \cdot 3$ eli 22,5 kN.

Vaihtoehdossa kolme on 18 mm:n T-urilla oleva pohjalevy (kuvio 8 levy 4) ja kiinnittiminä on kolme kappaletta M16-pystykiinnittimiä (kuvio 9 leuka 2). Kiinnitysvoimaksi tulee $11,25 \text{ kN} \cdot 3$ eli 33,75 kN. Siinä käytetään myös vastapainoja, jotka tasapinottavat pyörimistä. Neljänteen versioon on lisätty tuki, joka helpottaa kappaleen asemoimista.

Kiinnitin numero 5 on tehty tasapinotetulle aihiolle. Siinä on neljä pystykiinnitintä (kuvio 9 leuka 3). Kiinnitysvoimaksi tulee $11,25 \text{ kN} \cdot 4$ eli 45 kN. Neljällä leualla kiinnitettynä kappale on neljän tukipisteen varassa. Tässä tapauksessa kappale olisi paikoitettu oikeaoppisesti kolmella tukipisteellä, siten ettei kiinnitin väännä kappaletta, jos yhden leuan neljästä alatuki olisi säädettävä, kuten todetaan kohdassa 2. Tai kahden takimmaisien leuan välissä käytetään yhtä alatukipistettä. Leukojen sivukiristyksellä on tässä kiinnittimessä enemmän voimaa, koska leuat muodostavat vastaparit ja tukevat toisiaan.



Kuvio 10. Eri kiinnitysvaihtoehtoja

5.4 Työstöstä aiheutuvat voimat

Esimerkkikappaleessa sorvataan pallonivelen sisäpinta ja tiivistura. Silmukan materiaaliksi oli ilmoitettu rakenneteräs St 52-3N (DIN17100). Sitä vastaa materiaali on Ruukin Raex Multisteel. Sen ominaisuuksia ovat: myötölujuus on 355 N/mm^2 , hiilipitoisuus $0,18\%$ ja pinnankovuus 110 HB . (Ruukki 2013.) Se voidaan laskea luokkaan seostamattomat teräkset, joten sen ominaisleikkuvuoma on $k_s = n. 2000 \text{ N/mm}^2$ (Sandvik). Työstettäessä arvioitiin lastun maksimiarvojen olevan: syöttö/kierros $s = 0,5 \text{ mm}$, lastuvahvuus $a = 5 \text{ mm}$. Sorvauksen päävoimaksi saadaan siten 5000 N .

$$F_p = s \cdot a \cdot k_s$$

$$0,5 \text{ mm} \cdot 5 \text{ mm} \cdot 2000 \text{ N/mm}^2 = 5000 \text{ N}$$

Jyrsittäviä kohtia kappaleessa ovat hitsaussaumojen viisteet. Viisteet tehdään 30° viisteterällä, jonka halkaisija on 50 mm . Työstöarvoiksi valittiin: lastuamissyvyys $a_p = 10 \text{ mm}$, syöttö $f_z = 0,2 \text{ mm/r}$, hammasluku $z = 8 \text{ kpl}$ ja kontaktikulma $\alpha = 90^\circ$.

$$b = a_p / \sin k_r = 10 / \sin 30^\circ = 20 \text{ mm}$$

$$h_m = \sin k_r \cdot f_z \cdot a_e / (\alpha / 360 \cdot \pi \cdot D)$$

$$h_m = \sin 30 \cdot 0,2 \cdot 25 / (90 / 360 \cdot \pi \cdot 50) = 0,063662.. \text{ mm}$$

$$F_{ym} = b \cdot h_m \cdot k_s$$

$$F_{ym} = 20 \text{ mm} \cdot 0,064 \text{ mm} \cdot 2000 \text{ N/mm}^2 = 2560 \text{ N}$$

$$e = z \cdot \alpha / 360$$

$$e = 8 \cdot 90^\circ / 360 = 2$$

$$F_y = F_{ym} \cdot e = 2560 \text{ N} \cdot 2 = \underline{5120 \text{ N}}$$

Kappaleiden massat vaihtelevat 56–194 kg välillä. Massapisteen epäkeskisyseroja on 25 mm:n ja 57 mm:n välillä. Alla olevassa taulukossa 3. on laskettu eri kappaleille syntyviä keskihakuvoimia. Aihiot ovat numeroitu samoin kuin kuviossa 1. Aihioden massa pisteiden poikkeamat on saatu kappaleista tehdyistä CAD-malleista. Laskelmista ja taulukosta on huomattavissa, että jos kierrosnopeus kaksinkertaistetaan, niin keskihakuvoima nelinkertaistuu, joten käytetyllä kierrosluvulla on merkittävä vaikutus kiinnityksen rasittumiseen. Kun kierroslukua lasketaan neljäsosalla, keskihakuvoima puolittuu. Kierrosnopeus vaikuttaa lastuamisnopeuteen. Sorvattaessa lastuamisnopeus lasketaan sorvattavasta halkaisijamitasta.

Taulukko 3. Kappaleiden pyörimisestä aiheutuvia voimia

Keskihakuvoima			voima $F = m \cdot r \cdot \omega^2$					
Aihio	Massa m	painopisteen säde r	r/min	200	300	400	500	600
	Kg	mm	ω	20,94	31,42	41,89	52,36	62,83
1	32	26	voima F N	375	843	1499	2342	3373
2	56	25		625	1407	2501	3908	5627
3	61	33		880	1979	3518	5497	7916
4	117	39		1990	4478	7960	12438	17910
5	187	21		1714	3857	6857	10714	15428
6	163	69		4946	11129	19785	30913	44515
7	194	57		4891	11004	19562	30566	44015

Käytettävä materiaali vaikuttaa työstöarvoihin. Esimerkkikappale valmistetaan normaalista rakenneteräksestä. Sen keskimääräinen lastuamisnopeus on n. 150 m/min käytettäessä kovapalaterää. Taulukossa 4 on laskettu esimerkkikappaleille kierroslukuja eri lastuamisnopeuksilla. Sorvattavana halkaisijana D_m käytetään

silmukan pallonivelen pienintä halkaisija, koska silloin kierrosluku on suurimmillaan.

Taulukko 4. Kappaleiden kierrosnopeuksia eri lastuamisnopeuksilla.

Kierrosnopeus $n = (V_c \cdot 1000) / (D_m \cdot \pi)$					
	V_c (m/min)	100	150	200	250
Aihio	D_m (mm)	n (r/min)			
1	141	226	339	452	564
2	175	182	273	364	455
3	175	182	273	364	455
4	179	178	267	356	445
5	226	141	211	282	352
6	226	141	211	282	352
7	219	145	218	291	363

5.5 Lopullinen kiinnitin

Liitteessä 5 olevassa piirustuksessa on kiinnitin, joka on suunniteltu esimerkkiaihiolle. Tässä kiinnityksessä aihiolle ei tehdä muutoksia. Kiinnitintä suunniteltaessa on pyritty huomioimaan aiemmin selvitetty tekijät. Kappaleen kiinnityksessä sovelletaan 3-2-1-sääntöä. Kolmen pisteen tason muodostaa leukojen etupäässä olevat tukinastat. Sivusuuntainen kahden pisteen suora muodostuu aihion oikeaan kylkeen tulevasta kiinnitysleuasta sekä paikoitustapista. Siihen nähden kohtisuorassa olevan tukipisteen muodostaa leuka, joka on silmukan kaarevassa päässä. Paikoitustappi poistetaan kiinnittimestä ennen työstön aloittamista, kun kappale on kiristetty paikoilleen. Kappale kiristetään sivusuunnassa kolmannella leualla sekä pystysuunnassa pystykiinnittimillä.

5.6 Kiinnityksen laskenta

Liitteessä 5 olevassa kiinnittimessä on kolmen pystykiinnitintä. Niiden yhteenlaskettu kiinnitysvoima on 33,75 kN. Sivusuuntainen kiristys on 15 kN, joten sen kiinnitysvoima on 11,25 kN. Kiinnittimen kiinnitysvoima on yhteensä 45 kN. Se voidaan laskea kaavalla 9.

$$\mu = F / N$$

$$F = N \cdot \mu$$

$$F_1 = 15 \text{ kN} \cdot 0.75 = \underline{11,25 \text{ kN}}$$

$$F = N \cdot \mu \cdot kpl$$

$$F_2 = 15 \text{ kN} \cdot 0,75 \cdot 3 = \underline{33,75 \text{ kN}}$$

$$F_1 + F_2 = 11,25 \text{ kN} + 33,75 \text{ kN} = \underline{45 \text{ kN}}$$

Työstöissä käytettävät maksimi-arvot voidaan laskea kaavan 10 mukaan jakamalla kiinnitysvoima varmuuskertoimella ja vertaamalla sitä työstöarvoihin. Kiinnitysvarmuuden varmuuskertoimena pidetään kolmea. 45 kN jaettuna kolmella on 15 kN, joten työstö ja liikevoimat eivät saisi ylittää 15 kN.

$$n = F_{kr} / F_{sall}$$

$$F_{sall} = F_{kr} / n$$

$$F_{sall} = 45 \text{ kN} / 3 = \underline{15 \text{ kN}}$$

Kohdassa 5.4 sorvauksen päälastuamisvoimaksi laskettiin 5 kN, joten liikevoima voi olla enintään 10 kN. Sorvauksen kierrosluku riippuu kappaleen massasta ja massapisteen epäkeskisyydestä. Aihoiden pyörimisliikkeestä aiheutuvia keskihaakuvoimia on laskettu taulukkoon 3. Kappaleen maksimikierrosluku voidaan laskea kaavasta 7 ja lastuamisnopeus kaavasta 5. Esimerkiksi kappaleen 7 maksimikierrosluku on n. 286 r/min ja lastuamisnopeus n. 196 m/min .

$$F_r = F_{sall} - F_p = 15 \text{ kN} - 5 \text{ kN} = \underline{10 \text{ kN}}$$

Esim. kappale 7

$$m = 195 \text{ kg} \quad r = 57 \text{ mm} \quad D_m = 219 \text{ mm}$$

$$v = r\omega = 2\pi r n$$

$$F_r = mv^2/r$$

$$v = \sqrt{(F_r \cdot r / m)} = 2\pi r n$$

$$n = \sqrt{(F_r \cdot r / m)} / 2\pi r = \sqrt{(10000 \text{ N} \cdot 0,057 \text{ m} / 197 \text{ kg})} / 2\pi \cdot 0,057 \text{ m}$$

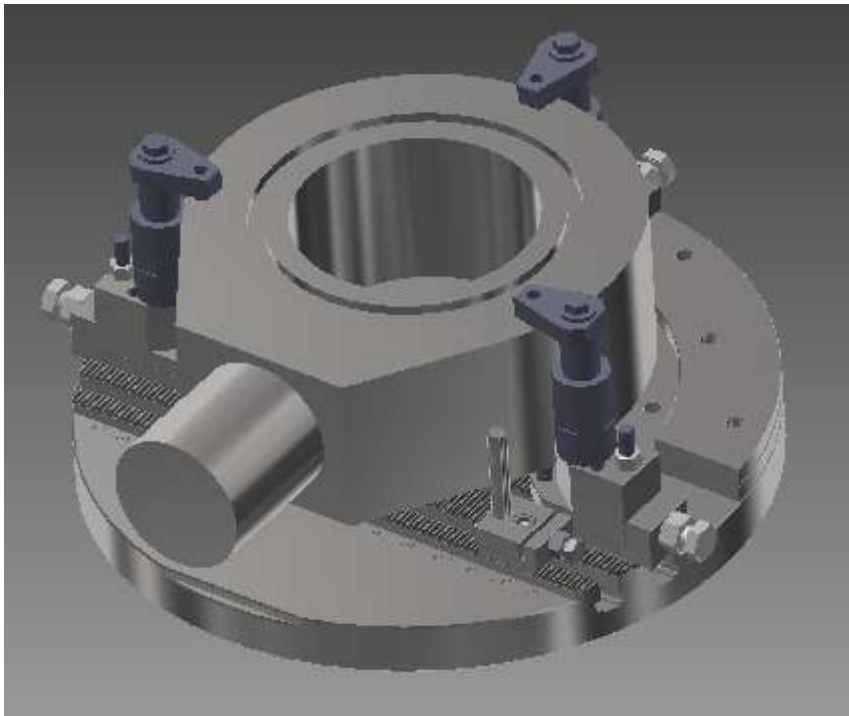
$$n = 4,7738 \text{ r/s} \Rightarrow 4,7738 \text{ r/s} \cdot 60 \text{ s} = \underline{286,429 \text{ r/min}} = n. \underline{286 \text{ r/m}}$$

$$V_c = (D_m \cdot \pi \cdot n) / 1000$$

$$V_c = (219 \text{ mm} \cdot \pi \cdot 286 \text{ r/min}) / 1000 = \underline{196 \text{ m/min}}$$

Kohdassa 5.4 jyrsinän voiman maksimiarvoksi laskettiin 5,12 kN, joka on alle 15 kN.

Liitteessä 5 on kuvat vastapinoista, joita voidaan kiinnittää pohjalevyyn siten että kiinnittimen massakeskipiste on lähellä pyörähdyskeskiötä. Kokoonpanon painopistettä on helpoin tutkia CAD-mallista.



Kuvio 11. Kiinnitinkokoonpanon 3D-malli

5.7 Kiinnittimen valmistus

Kiinnitin päätettiin pinta- tai lämpökäsitellä kulumisen vähentämiseksi ja mittamuu-
tosten estämiseksi. Osien pinnan tulee olla kovia ja sileitä. Koska kiinnittimen osat
koneistetaan valmiiksi ennen mahdollista käsittelyä, niihin ei saa syntyä suuria
mittamuutoksia käsittelyn aikana. Mahdolliseksi pintakäsittelymenetelmäksi valittiin
nitraus. Nitrauksessa teräskappaleita pidetään kaasufaasissa, jossa niiden pintaa
syntyy kovia nitraattikiteitä. Kaasufaasin lämpötila on n. 500 C°. Lämpötilamuu-
tokset ovat pienempiä kuin hiiletys- ja induktiokarkaisussa, joten kappaleeseen ei
tule niin suuria mittamuutoksia. (Metalliteollisuuden keskusliitto 1999.)

Kiinnittimen osat valmistetaan koneistamalla. Materiaaliksi pitää valita työkalute-
räs, joka on koneistettavissa ja soveltuu nitrattavaksi. Yksi vaihtoehto on Too-
lox33, joka tuotetietojen mukaan on helposti koneistettavaa, sillä on hyvä mittojen
pitävyys, lujuus on korkea (myötölujuus 950 MPa) ja se soveltuu kaasunitrauk-
seen. Siitä käytetään muovi- ja kumimuottien valmistukseen sekä työkaluihin ja
koneen osiin. (Sten & co. Oy 2012.) Kiinnittimeen tulevat vastapainot voidaan val-
mistaa edullisesta materialista, kuten normaalista rakenneteräksestä, koska niihin
ei kohdistu työstövoimia koneistuksen aikana.

Kiinnittimessä olevien ruuvien ja t-urien ruuvien pitäisi olla lujia, 10.9-
lujuusluokkaa, joka tarkoittaa että ruuvin materiaalin murtolujuus on 1000 N/mm²
ja myötöraja on 90 % siitä eli 900 N/mm. Ne kestävät työstön rasitukset eivätkä ne
kulu käytössä. (Valtanen 2009, 693.)

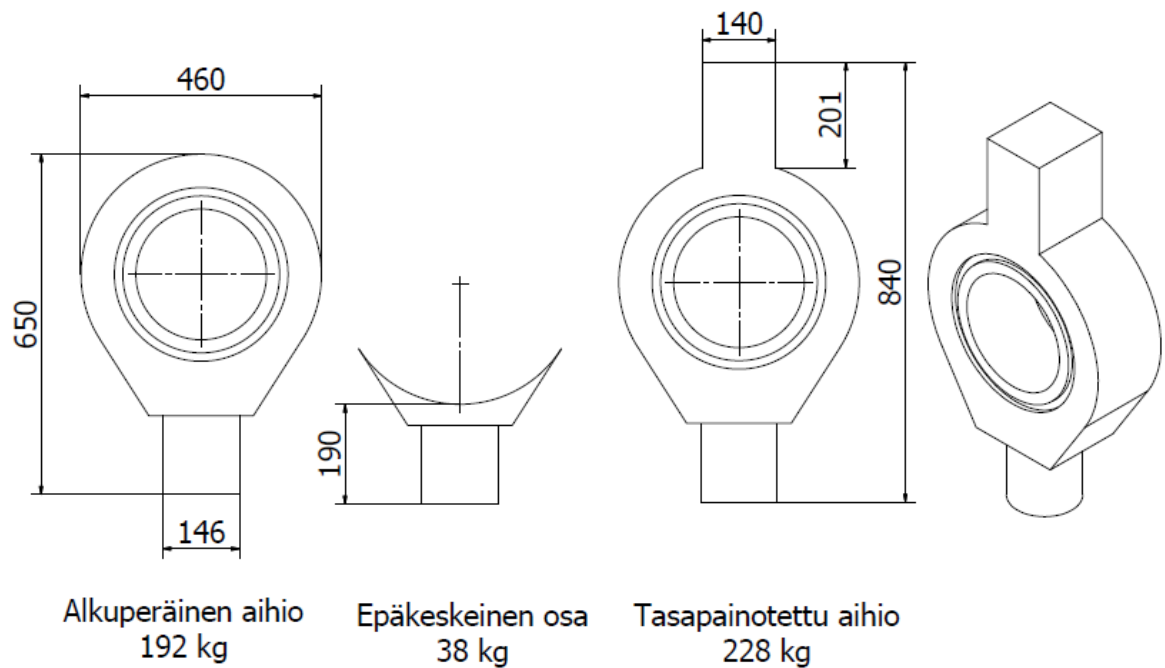
6 DFMA

DFMA Design for Manufacturing and Assembly tarkoittaa suunnittelua, joka edesauttaa valmistamista ja kokoonpanoa. Kappaleet suunnitellaan siten, että ne on helppo valmistaa ja ne tehdään saatavilla olevista materiaaleista. Kokoonpanossa ei tarvitse tehdä tarkkoja sovituksia. Se voidaan jakaa kahteen osa-alueeseen: DFM valmistusystävällinen ja DFA kokoonpanoystävällinen suunnittelu. Yhtenä osa-alueena on myös DFX eli suunnittelu jotain tiettyä osa-aluetta kohden, kuten kierrätystä ja huoltoa korostaen. DFX-suunnittelussa käytetään usein samoja peruseräiteitä kuin DFMA:ssa. Tuotteen ja työvälineiden suunnittelussa on olennaista uudelleen suunnittelu. (Laakko ym. 1998, 184-188.)

Tässä opinnäytetyössä valmistettava kappale on yksinkertainen muodoltaan, mutta sen kiinnittäminen ja työstäminen tuottaa kuitenkin ongelmia. Suurimman ongelman aiheuttaa sorvattava kappaleen epäkeskeisyys. Se pyrkii liikkumaan kiinnittimessä painopisteensä suuntaan. Koneeseen kohdistuvaa värinää ja kiinnittimestä koneen pöytään suuntutuvaa voimaa pystytään vähentämään kiinnittämällä vastapainoja kappaleen kiinnittimeen. Sillä ei kuitenkaan poisteta kappaleen ja kiinnittimen välistä keskihakuvoimaa.

6.1 DFM-sovellusehdotus

Yksi vaihtoehto helpottamaan kappaleen sorvaamista on tehdä aihiesta tasapainoinen. Tämä voi tapahtua käytännössä vaikkapa muuttamalla polttoleikattua aihiota siten, että siihen jää uloke, joka on vastakkaisella puolella aihiota kuin nykyinen epäkeskeinen osa (kuvio 12). Sen massan on oltava yhtä suuri kuin sorvausvaiheessa on vastakkaisella ulokkeella. Uloke voidaan poistaa aihiesta sorvaustyövaiheen jälkeen jyrsimällä.



Kuvio 12. Esimerkki tasapainotetusta aihioista

Kappaleen kiinnittäminen aikaisemmin suunniteltuun kiinnittimeen ei ole ylimääräisen ulokkeen kanssa mahdollista. Kiinnitintä pitäisi muuttaa siten, että silmukan kaarevaan päähän tulee kaksi tukea, joiden väliin jää tila ulokkeelle (kuviot 8 ja 10). Kiinnittämiseen voidaan soveltaa myös kuusileukaista sorvinpakkaa. Pakkaa pitäisi muuttaa siten, että siitä poistetaan kaksi leukaa käytöstä. Leuat otetaan pois aihion ulokkeiden kohdalta. Jokaista ahiota kohden oikean kokoinen vastapaino voidaan jättää kappaleeseen ahiota leikattaessa. Koska kappale olisi jo itsessään lähes tasapainossa, ei kiinnitysvaiheessa tarvitsisi asettaa vastapainoja. Kappaleen vaihtaminen helpottuisi ja kiinnitintä voitaisiin yksinkertaistaa. Käytettäessä kuusileukaista pakkaa kiinnittämiseen kappaleen vaihtaminen voitaisiin tehdä ilman käsikäyttöisiä kiristimiä. Se voisi mahdollistaa myös kappaleen vaihdon robotilla ja siten miehittämättömän ajon. Kappaleen muutoksesta aiheutuu lisää poistettavaa materiaali. Hukkaan menevän materiaalin kustannuksia pitää verrata muutoksella saavutettuihin hyötyihin.

6.2 DFM kiinnittimessä

Esimerkkikiinnittintä suunniteltaessa valmistamisen helpottamiseksi pyrittiin käyttämään hyväksi valmiita kiinnityselementtejä. Kiinnittimen pohjalevy ja kiinnitysleuat joudutaan kuitenkin valmistamaan itse, koska niitä ei saa valmiina. Valmistettavissa osissa käytetään kuitenkin yksinkertaisia ja helposti valmistettavia muotoja ja yrityksessä aiemmin käytettyjä menetelmiä. Leuat ovat suoraseinäisiä kappaleita, joita on helppo kiinnittää jysinkoneeseen työstön aikana. Kaikki leuat ja niiden alaosat ovat keskenään samanlaisia. Koska leukojen paikat ja tukipisteet ovat säädettävissä, ei pienet kokovaihtelut niiden kesken haittaa kiinnittimen käyttöä. Kiskoissa oleva hammastus on samalla profiililla, mikä on käytettävän sorvin leuoissa. WirMeti:lla oli tehty aiemmin uusia leukoja samaan sorvin pakkaan, joten hammastukselle löytyi valmiiksi työkalut ja työstöohjelma (Taisto A. 2013).

7 YHTEENVETO JA POHDINTA

Työkappaleen kiinnittämiseen vaikuttaa monet tekijät. Osia suunnitellessa pitäisi huomioida myös niiden valmistettavuus. Kappaleiden kiinnittämiseen ja kiinnittimien valmistamiseen voi saada kulumaan paljon aikaa ja rahaa. Sorvattaessa epä-keskisiä kappaleita kierrosluvun muutoksella on suuri merkitys kappaleen keskiha-kuvoimaan. Teräpalan malli ja kulma sekä lastuamisarvot voidaan valita myös siten että niillä saavutetaan haluttu pinnan laatu ja vähennetään värinää, sellaisella kierrosluvulla jonka kiinnitys kestää (Sandvik [viitattu 20.1.2015]).

Työkalun materiaalivalinnalla voidaan vaikuttaa valmistuskustannuksiin. Helposti lastuttava, mutta luja materiaali, joka voidaan nitrata pinnankovuuden lisäämiseksi, soveltuu käyttötarkoitukseen. Kova pinta ja sitkeä perusaine lisäävät osien käyttöikää.

Asioita, joita työtä tehdessä olisi voinut tehdä toisin, on leukojen kiristys. Kiinnittimessä on paljon ruuvikiinnityksiä ja säädettäviä kohtia. Niitä joudutaan löysäämään ja kiristämään kappaletta vaihdettaessa. Vähentämällä ruuvikiinnityksiä voitaisiin lyhentää asetusaikaa. Kiinnittimen hydraulikka- tai paineilmatoimista kiristystä kannattaa tutkia. Uudelleensuunnittelulla voidaan ehkä vähentää valmistettavien kiinnitinosien lukumäärää, jos pystytään soveltamaan enemmän valmiita kiinnityselementtejä.

Kehitettäessä silmukan tuotantoa eteenpäin kappale kannattaisi tasapainottaa. Osassa oleva ylimääräinen uloke lisää materiaalin hukkaa, mutta sillä voidaan saavuttaa muita etuja. Helpomman kiinnittämisen, nopeamman tahtiajan ja paremman pinnanlaadun hyötyjä on verrattava hukkaan menevän materiaalin kustannuksiin.

LÄHTEET

- Aaltonen, K., Ekman, K., Kamppari, J., Kauppinen, V., Kivivuori, S., Paro, J. & Vuorinen J. 1991. Työvälinetekniikka. Hämeenlinna: Otatieto OY
- Aaltonen, K., Andersson, P. & Kauppinen, V. 1997. Levytyö ja työvälinetekniikka, 1. painos. Porvoo: WSOY.
- Fastems. 2014 [verkkosivu]. Tampere: Fastems Oy Ab. [Viitattu 11.05.2015]. Saatavana: <http://www.fastems.com/fi/>
- Halder. Ei päiväystä. Standardiosat [verkkosivu] [viitattu 20.5.2013]. Saatavana: <http://www.halder.de/produkte/main.asp?k=1&g=&menu=296&submenu=products&s=fi>
- Karhunen J., Lassila V., Pyy S., Ranta A., Räsänen S., Saikkonen M. & Suosara E. 1992. Lujusoppi, 10.painos. Helsinki: Oy yliopistokustannus/ Otatieto Oy
- Laakko, T., Sukuvaara, A., Borgman, J., Simolin, T., Björkstrand, R., Konkola, M., Tuomi, J. & Kaikkonen, H. 1998 1.painos. Tuotteen 3D-CAD-suunnittelu. Porvoo: WSOY.
- Maaranen, K. 2004. Koneistustekniikat. Porvoo: WSOY.
- Metalliteollisuuden keskusliitto 1999, Met-Julkaisu nro 3/1999, 3.painos. Pintakäsittelytekniikka. Tampere: Metalliteollisuuden kustannus Oy.
- Metallitekniikka 5.8.2010. Älyä viimeistelysorvaukseen. [verkkojulkaisu]. [viitattu 16.03.2015]. Saatavana: <http://lehtiarkisto.talentum.com/lehtiarkisto/search/show?eid=2204797>
- Pikkarainen, E. & Mustonen, M. 2010. Numeerisesti ohjatut työstökoneet 2. painos. Helsinki: Opetushallitus.
- Robert Bosch Gmbh. 2002 Bosh: Autotekniikan taskukirja. Autoalan Koulutuskeskus Oy 6.Painos
- Ruukki. 2013. Multisteel rakenneteräkset. [verkkojulkaisu]. [viitattu 06.04.2015]. Saatavan: <http://www.ruukki.fi/Teras/Kuumavalssatut-terakset/Rakenneterakset/Multisteel-rakenneterakset>
- Sandvik. Ei päiväystä. Tietotaito [Verkkosivu]. Vantaa: Sandvik coromant Finland. [Viitattu 20.01.2015]. Saatavana: <http://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/pages/default.aspx>

Scalar OY. Ei päiväystä. Kappaleenkäsittely. [verkkosivu]. Riihimäki . OY Scalar ltd. [Viitattu 03.05.2015]. Saatavana: <http://www.scalar.fi/kappaleenkäsittely/fipa/raataloidyttarraitet/>

Stèn & co OY . 2012. Toolox33. [verkkajulkaisu]. [viitattu 6.04.2015]. Saatavilla: http://sten.fi/sten_fin/tuotteet/toolox/

Tampereen Kaupunki 2002. Valukappaleet koneistuksen kannalta. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 20.01.2015]. Saatavilla: <http://koulut.tampere.fi/materiaalit/valimo2/> tai <http://www.valuatlas.fi/oppimateriaalit.php>

Taisto, A. 2013. Toimitusjohtaja. Wirtain Metalli OY. Haastattelu

Valtanen, E. 2009. Tekniikan taulukkokirja, 17.painos. Mikkeli: Genesis-kirjat oy

Wirtain Metalli OY. 2015. Yritys [verkkosivu]. [Viitattu 14.03.2015]. Saatavana: <http://www.aisikon.fi/wirmet/index.html>

LIITTEET

Liite 1: Silmukan ja sylinterin peräkappaleen kokoonpano

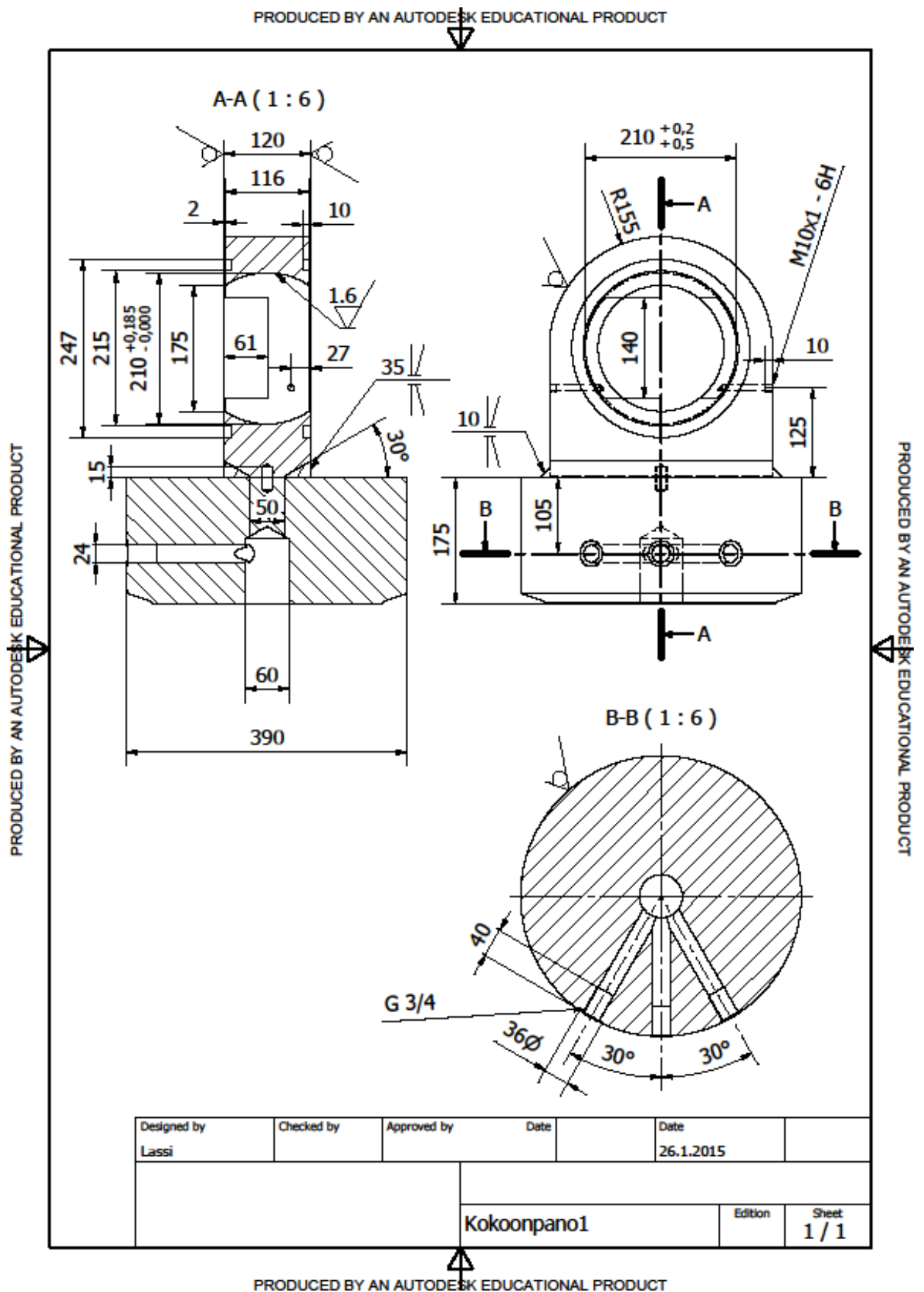
Liite 2 : Sivukiinnitin tukipisteellä

Liite 3: Pystykiinnitin

Liite 4: Kiinnityskisko

Liite 5: Piirustukset lopullisesta kiinnittimestä:

Liite 1 Silmukan ja sylinterin peräkappaleen kokoonpano



Liite 2 Sivukiinnitin tukipisteellä

Clamping Elements

EH 23020
M 8x10
M 12x14
M 16x18

picture 1

picture 2

EH 23210.

**Down-Hold
Clamps**

without clamping
lever, with support

Material:
• Steel, case-hardened, blackened, ground

Note:
By tightening the ball-ended thrust screw the work piece is simultaneously pressed towards the stops and fixture plate. The favourable leverage enables high horizontal clamping forces. When using T-nuts EH 23010. / EH 23020. (DIN 508) they can also be applied to other slot sizes.
The integrated support is equipped with a location thread to fit for example screwed rest buttons EH 22690., self-aligning pads EH 22730. / EH 22740.

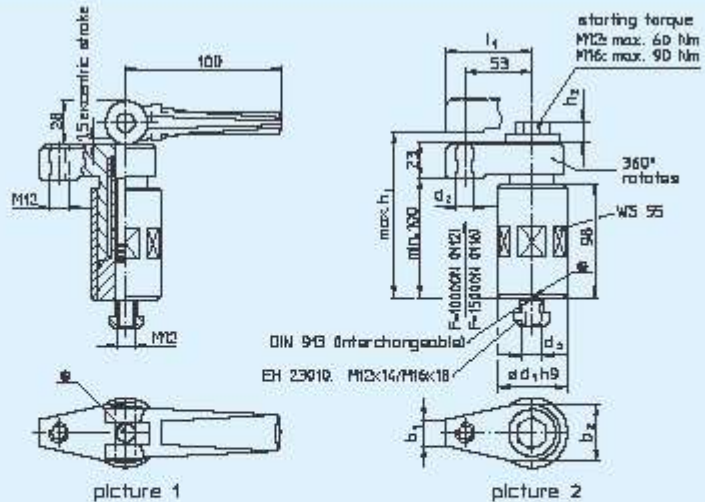
Ref. No.	Finish	T-slot size	d ₁	d ₂	d ₃	b ₁	b ₂	h ₁	h ₂ ±0,01	h ₃	h ₄	l ₁	l ₂	l ₃	l ₄	s	Clamping force horizontal kN max.	Tightening torque max. Nm	±g
23210.0001	with flat	10	M 8	8,4	8	32	12,1	44	15	40	28	52	28	72,5	38	3	7,0	3	556
23210.0001	clamping jaw	14	M 12	13,0	M 12	48	16,0	53	15	45	27	72	40	100,0	55	4	15,0	9	1342
23210.0011	(picture 1)	10	M 10	17,0	M 16	68	18,8	72	20	60	38	86	41	126,0	63	7	21,5	20	3149
23210.0002	with	10	M 8	8,4	8	32	12,1	44	15	40	28	52	28	72,5	38	3	7,0	3	556
23210.0002	V-clamping	14	M 12	13,0	M 12	48	16,0	53	15	45	27	72	40	100,0	55	4	15,0	9	1342
23210.0012	jaw (picture 2)	10	M 10	17,0	M 16	68	18,8	72	20	60	38	86	41	126,0	63	7	21,5	20	3149

www.halder.com 237

Liite 3 Pystykiinnitin

EH 23310.**Down-Thrust
Clamps**

size 80

**Clamping Elements****Material:**

- Case-hardened steel, case-hardened, blackened and ground

Notes:

The clamping height can be increased by using height adjusting cylinders EH 23310, and disks EH 1107, EH 1108, and EH 1617, from the Halder Modular Jig and Fixture System. It can be reduced by using clamping inserts.

Clamps provide the following advantages:

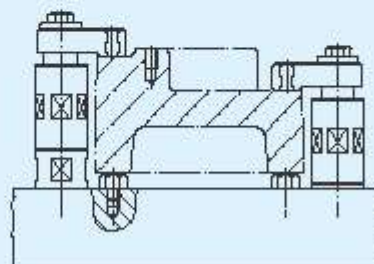
- rapid manual clamping by means of a threaded spindle and eccentric
- easy and rapid changing of work pieces by swinging away the clamping head
- compact construction, thus little space taken-up for clamping
- simple adaption even to extreme clamping height, using height adjusting cylinders

Down-thrust clamps can be secured in two different ways:

- 1.) in a T-slot (DIN 508)
- 2.) directly to the mounting plate, e.g. of a fixture by means of a threaded stud

The cylinder has to rest on the entire surface. The clamping height h_1 must not be exceeded.

Ref. No.	Finish	d_1 h9	h_1 max.	d_2	l_1	h_2	b_1	b_2	$\frac{A}{g}$
23310.0000	with eccentric clamping lever (picture 1)	65	130	—	65	—	17	44	3015
23310.0001	with clamping screw (picture 2)	65	130	M 12	65	13	17	44	2696
23310.0003		65	130	M 16	69	16	24	53	2939

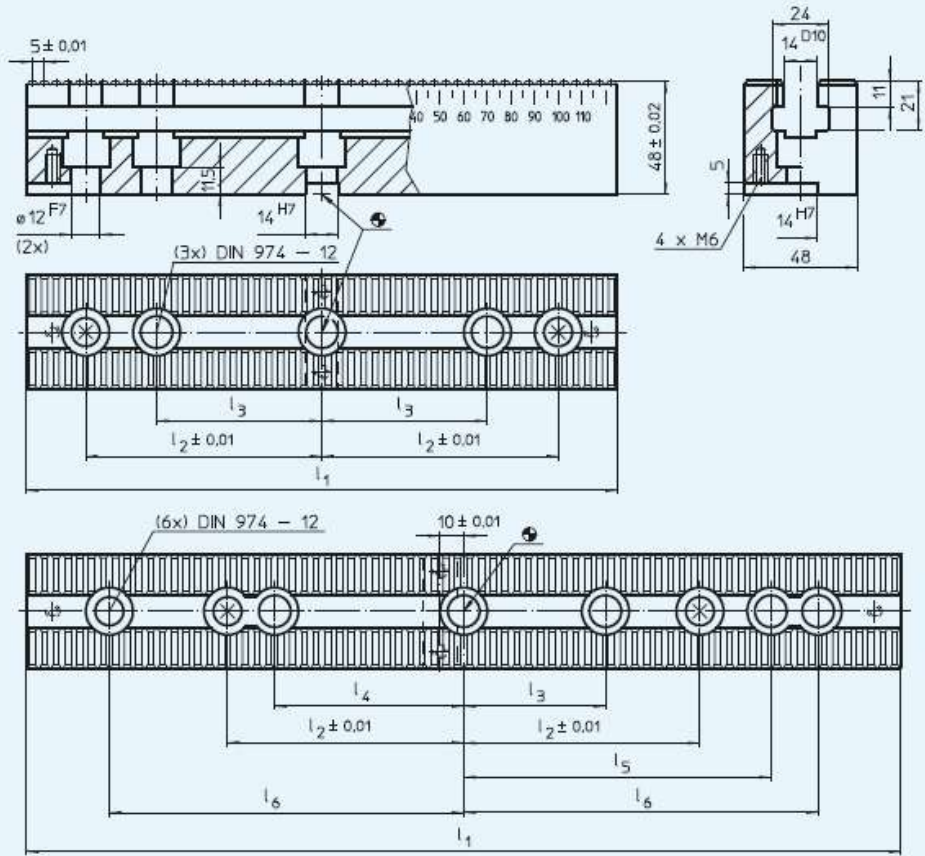




Multiple Clamping Systems

EH 1582.000 -
EH 1582.100

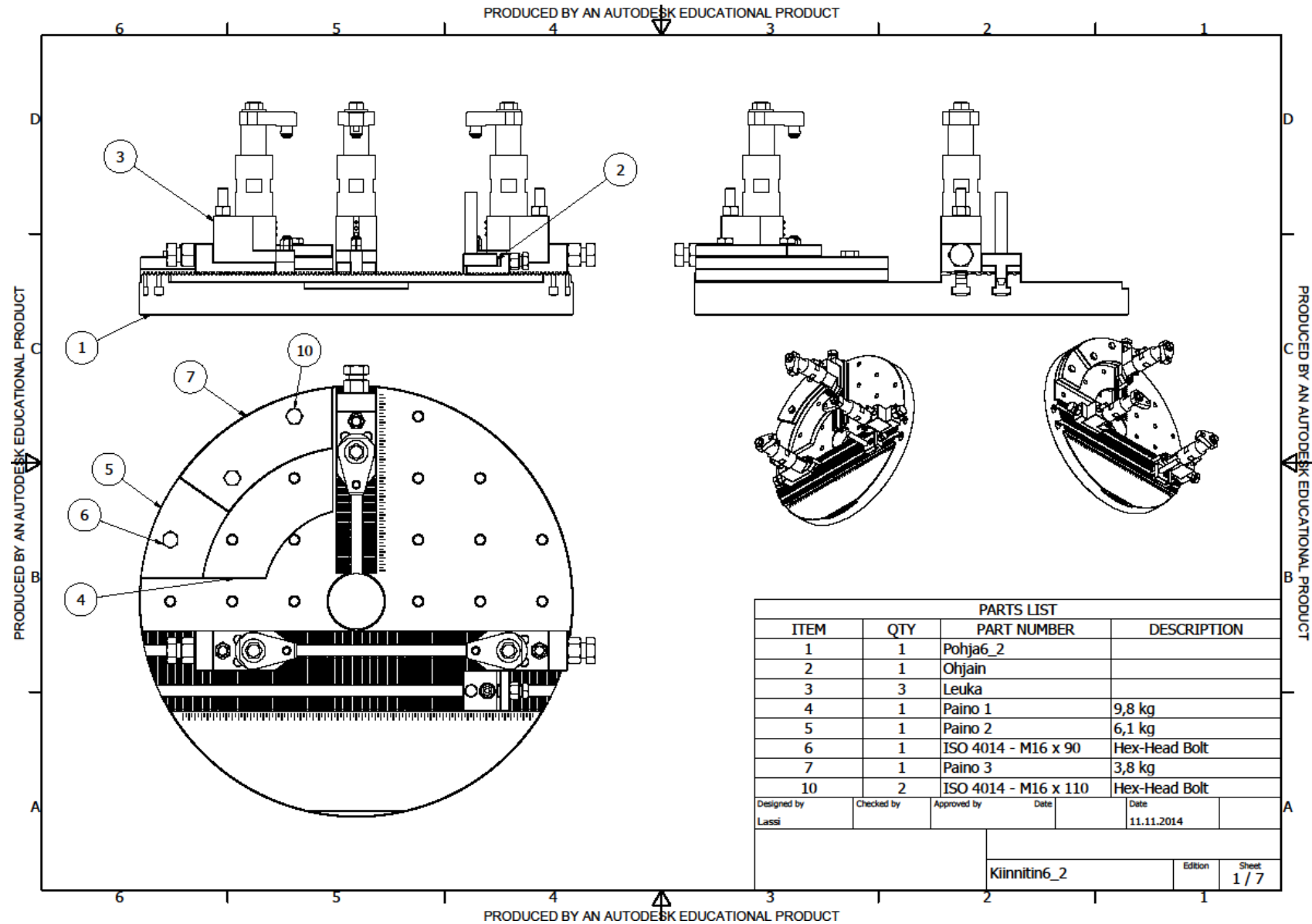
Clamping Bars



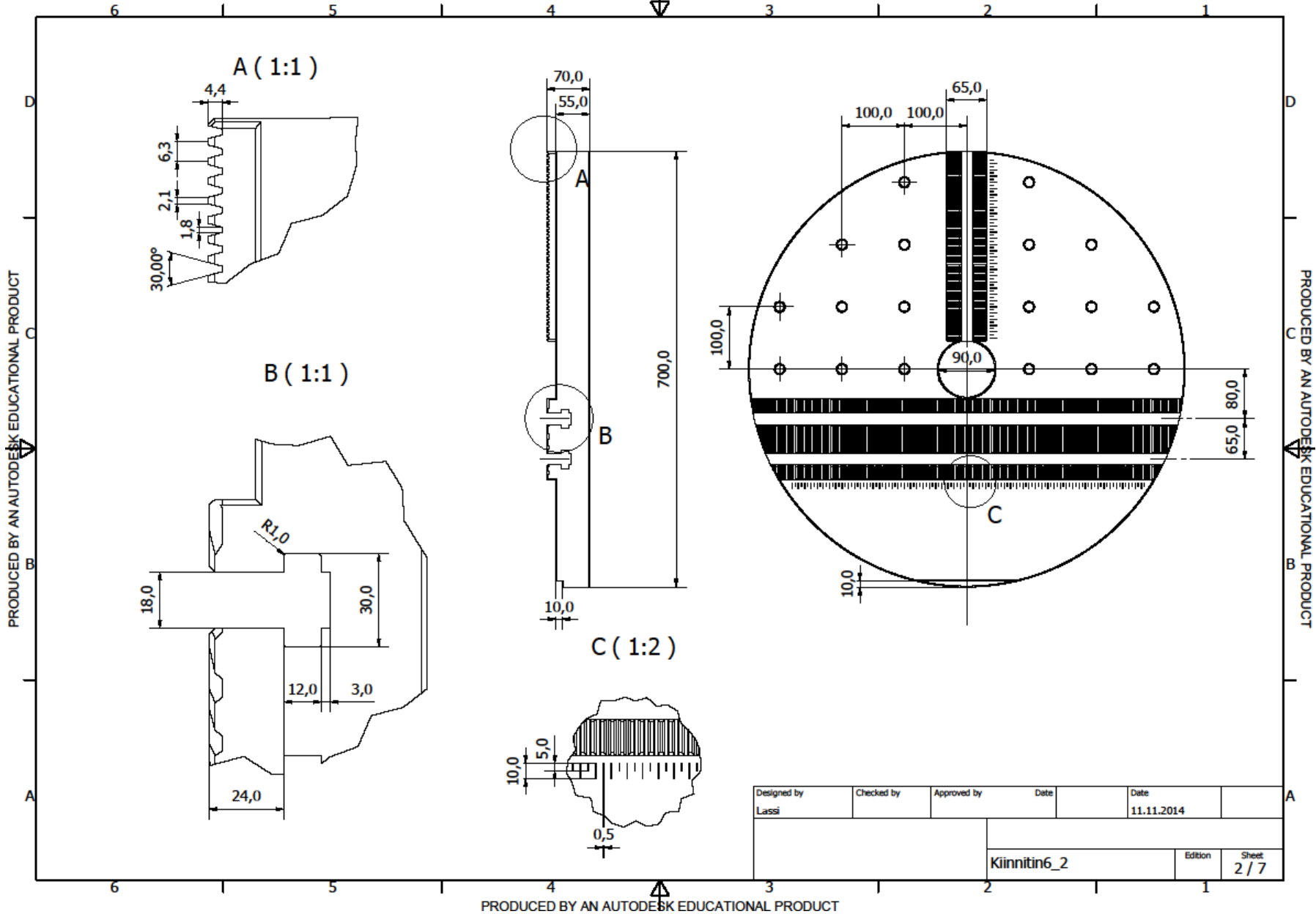
Material:
• Steel, case-hardened, ground

Ref. No.	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6	g
1582.000	250	100	70	-	-	-	3200
1582.100	370	100	60	80	130	150	4700

Liite 5 Piirustukset lopullisesta kiinnittimestä

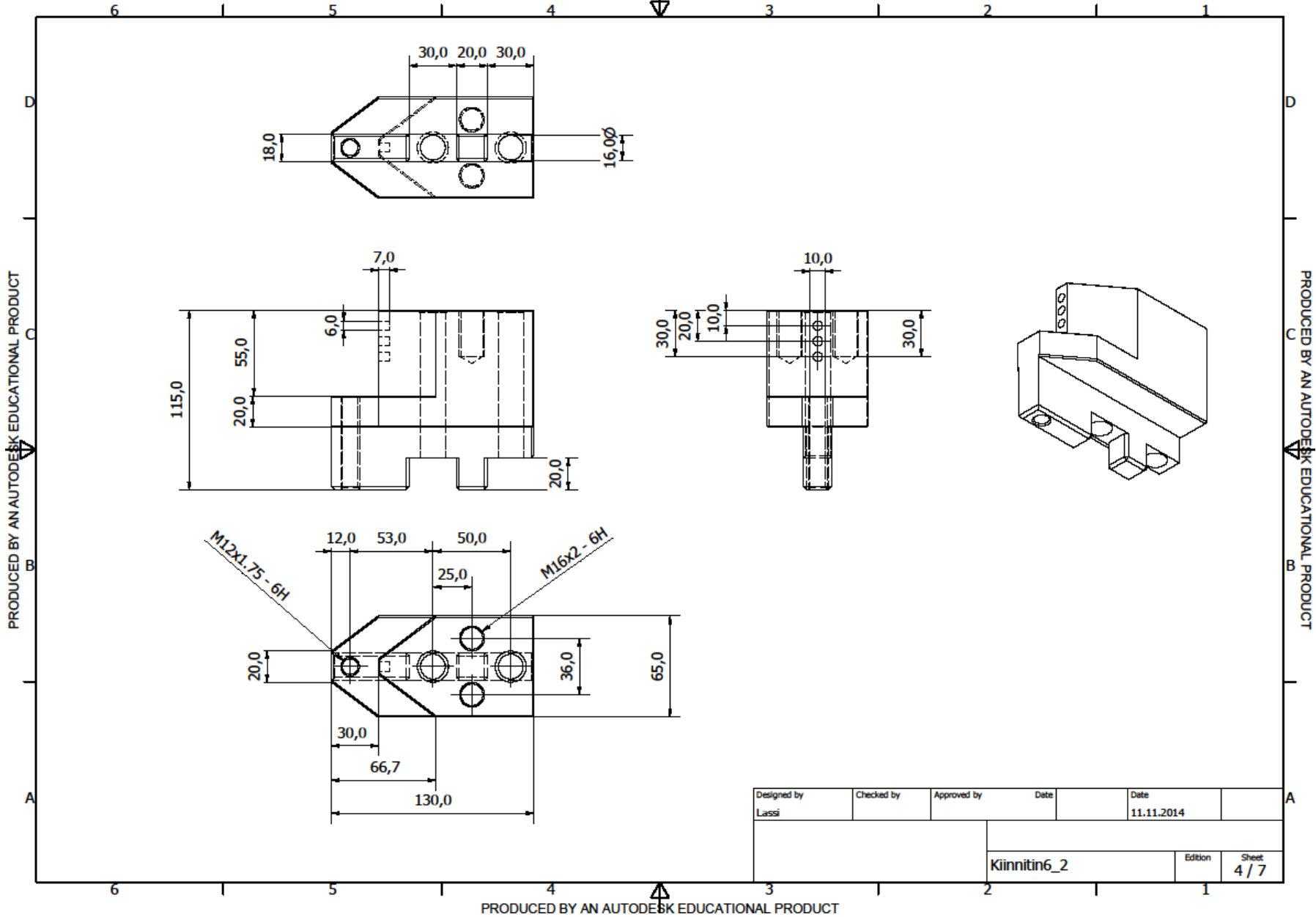


PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



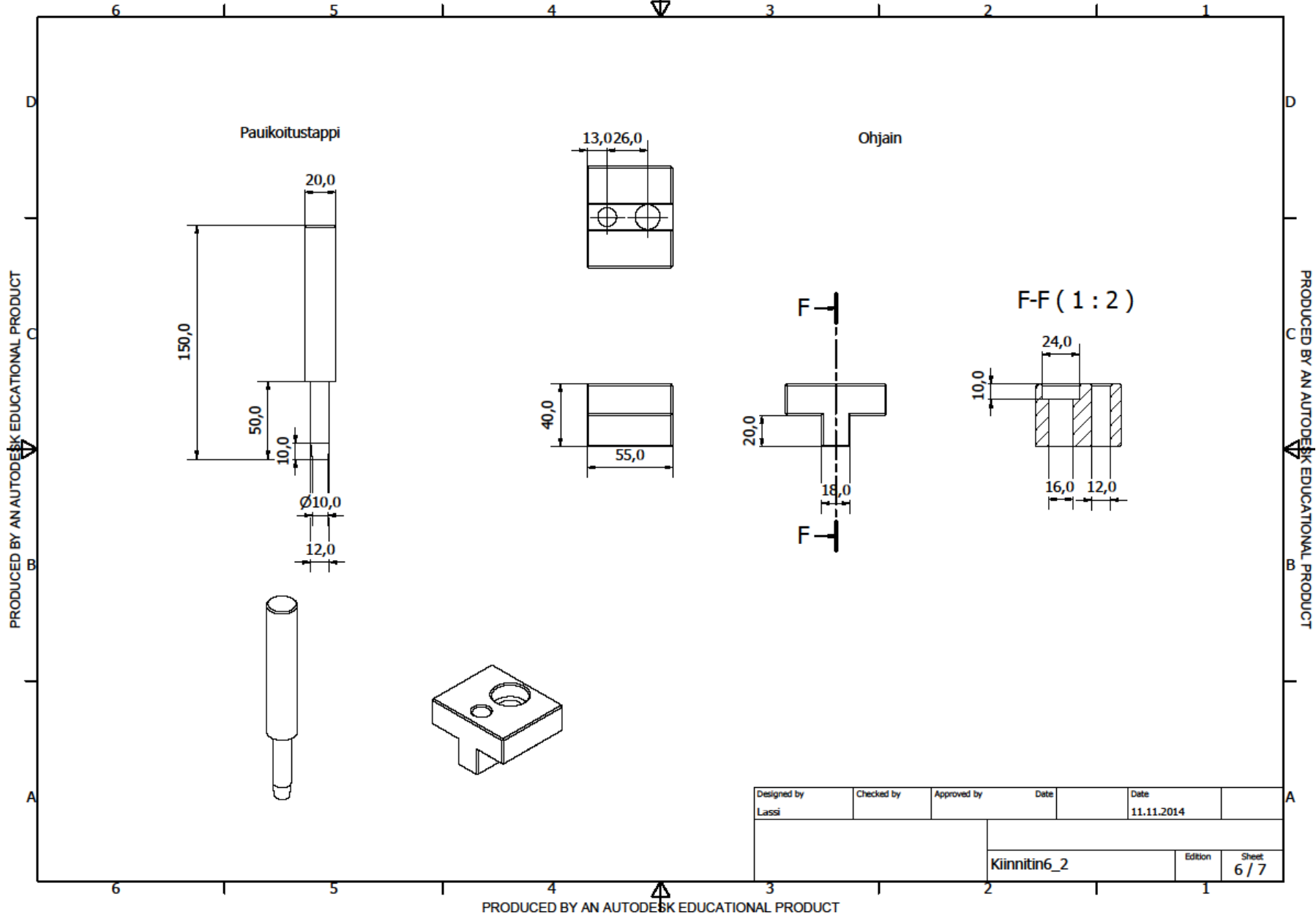
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

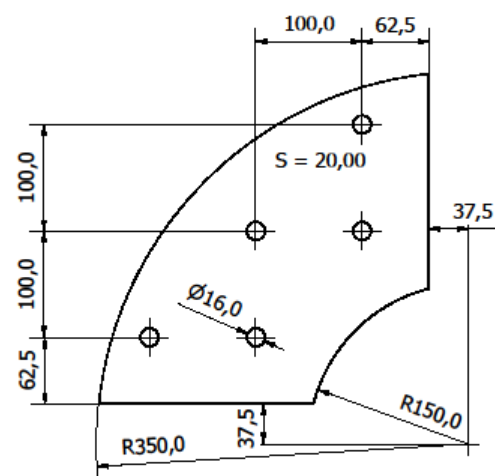
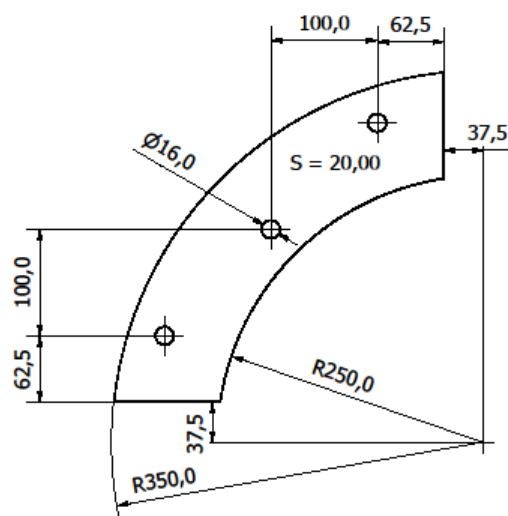
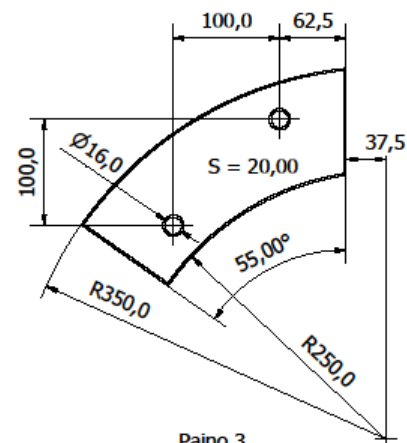


PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Paino 1
9,8kgPaino 2
6,1kgPaino 3
3,8kg

Designed by Lassi	Checked by	Approved by	Date	Date 11.11.2014	
			Kiinnitin6_2		
			Edition	Sheet 7 / 7	

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

